



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN OPCIÓN
AL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER GESTIÓN DE ENERGÍAS**

TEMA:

ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE
DISTRIBUCIÓN, EN LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROPUESTA DE APLICACIÓN
DE UN MÉTODO DE SELECCIÓN BASADO EN CURVAS DE EFICIENCIA
ENERGÉTICA, PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS.

Autor:

PARRA Parra, Diego Renán

Tutor:

PhD. González Palau, Iliana

LATACUNGA – ECUADOR

Junio - 2017



AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe del Proyecto de Investigación y Desarrollo de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el posgraduado: Ingeniero Diego Renán Parra Parra, con el título del trabajo de investigación y desarrollo titulado: ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN, EN LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROPUESTA DE APLICACIÓN DE UN MÉTODO DE SELECCIÓN BASADO EN CURVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa.

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

Latacunga julio 13, 2017

Para constancia firman:

MSc. MANUEL ÁNGEL LEÓN SEGOVIA
cc. 0502041353
PRESIDENTE

MSc. ENRIQUE TORRES TAMAYO
cc. 1757121940
MIEMBRO

PhD. JUAN MATO TAMAYO
cc. 1756944284
MIEMBRO

PhD. HÉCTOR LUIS LAURENCIO ALFONSO
cc. I712813
OPONENTE



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

DIRECCIÓN DE POSGRADO

CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del Programa de Maestría Gestión de Energías, cohorte 2014, nombrado por el Honorable Consejo de Posgrados de la UTC.

CERTIFICO

Que he analizado el Proyecto de Tesis de grado con el título **“ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN, EN LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROPUESTA DE APLICACIÓN DE UN MÉTODO DE SELECCIÓN BASADO EN CURVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS”**, presentado por Parra Parra Diego Renán, con cédula de ciudadanía 0502778368 como requisito previo para la aprobación y el desarrollo de la investigación para optar el grado de Magister Gestión de Energías.

Sugiero su aprobación y permita continuar con el proceso.

Latacunga, Junio 2017

PhD. Iliana González

CC. 1757070659

TUTOR

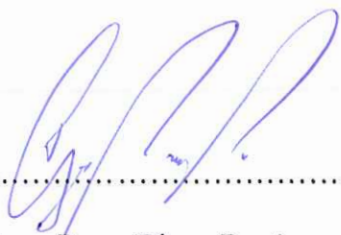
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS

El proyecto de tesis de maestría denominado “ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN, EN LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROPUESTA DE APLICACIÓN DE UN MÉTODO DE SELECCIÓN BASADO EN CURVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS”, 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 del 2017.



.....
Ing. Parra Parra Diego Renán

0502778368

Dedicatoria.

*Este trabajo está dedicado de manera muy especial,
a mi amado hijo Jorgito, fuente inagotable de inspiración en mi vida.*

*A la memoria de mis dos abuelitos Jorge y Leonardo, quienes
con su sabiduría inculcaron valores y principios de superación.*

Ing. Diego Parra

Agradecimiento.

Mi agradecimiento más profundo en primer lugar a Dios, quien me ha bendecido día a día con la salud, sabiduría y fortaleza, necesarios para cumplir con los objetivos profesionales trazados.

A mis maestros, quienes de forma desinteresada, han compartido sus conocimientos y experiencias a lo largo de mi carrera, ayudándome a expandir mi criterio profesional.

A mis compañeros de clase, amigos indispensables en el desarrollo profesional de toda la carrera.

Y de manera muy especial a mi amada esposa, compañera y pilar de apoyo de mis decisiones y logros profesionales y personales.

Ing. Diego Parra

INDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	III
INTRODUCCIÓN	V
Situación problemática	VI
Justificación de la Investigación	VI
Objeto de estudio de la investigación	VII
La Formulación del Problema de Investigación	VII
Campo de acción del objeto de estudio	VII
Objetivo general de la investigación.....	VIII
Objetivos específicos	VIII
Hipótesis	VIII
Sistemas de tareas por objetivos	VIII
Alcance de la investigación	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1. Marco conceptual y teórico.....	1
1.1. Caracterización de la investigación	1
1.1.1. Redes eléctricas de Distribución.....	1
1.2. Marco teórico	14
1.2.1. Pérdidas de energía eléctrica en sistemas de distribución.....	14
1.2.2. Cargabilidad de transformadores de distribución	16
1.2.3. Demanda de energía eléctrica en sistemas de distribución	18
1.2.4. Función de costos.....	19
1.3. Fundamentación teórica de la investigación	20

1.3.1. Antecedentes de Estudio	20
1.3.2. Fundamentación Legal y Ambiental	22
1.4. Bases teóricas particulares de la investigación	24
1.4.1. Sistema Eléctrico de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.....	24
1.4.2. Área de concesión	24
1.4.3. Descripción del sistema eléctrico de distribución primario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S. A.....	25
1.5. Conclusiones del Capítulo 1	27
CAPITULO 2.....	28
2. Metodología	28
2.1. Diseño de la investigación	28
2.1.1. Modalidad de la investigación	28
2.1.2. Nivel o tipo de investigación	29
2.1.3. Método de Investigación.....	29
2.1.4. Técnicas e Instrumentos de la Investigación	30
2.1.5. Determinación de las variables	34
2.1.6. Método de selección de transformadores	36
2.1.7. Indicadores.....	37
2.2. Metodología de la investigación	38
2.2.1. Recopilación de información	38
2.2.2. Modelamiento del sistema	42
2.2.3. Metodología de cálculo para la selección optima de transformadores	43
2.3. Conclusiones del capítulo 2	49
CAPITULO 3.....	50
3. Resultado de la Investigación	50

3.1. Resultados del modelamiento en el CYMDIST del sistema actual	50
3.1.1. Cálculo de pérdidas de energía en la Empresa eléctrica provincial Cotopaxi S.A.....	51
3.1.2. Resultado de las curvas de servicio y operación en los transformadores de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.	60
3.2. Conclusiones del capítulo 3	74
CAPITULO 4.....	75
4. Propuesta.	75
4.1. Título de la propuesta.....	75
4.2. Justificación.	75
4.2.1. Determinación del intervalo de eficiencia en transformadores monofásico.	76
4.2.2. Determinación del intervalo de eficiencia en transformadores trifásico..	77
4.2.3. Transformadores seleccionados a ser reemplazados.....	78
4.3. Objetivo.	82
4.4. Estructura de la propuesta.....	82
4.5. Desarrollo de la propuesta.	82
4.5.1. Selección de transformadores en el sistema eléctrico de distribución en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. en el cantón Latacunga.....	83
4.5.2. Selección de transformadores en proyectos de expansión de energía eléctrica.	85
4.6. Evaluación socio-económico-ambiental de la propuesta.....	85
4.6.1. Evaluación socio ambiental.	85
4.6.2. Evaluación Económica.....	86
CONCLUSIONES GENERALES.....	89

RECOMENDACIONES..... 90

BIBLIOGRAFÍA 91

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variable independiente.....	35
Tabla 2. Variable dependiente.....	36
Tabla 3. Cantidad de transformadores instalados en la red de distribución del cantón Latacunga.	36
Tabla 4. Información de cabecera de cada uno de los alimentadores a simular.....	40
Tabla 5. Datos de placa de los transformadores.....	47
Tabla 6. Costo de transformadores, accesorios, mano de obra y transporte de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A:.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 7 . Registros coincidentes a la demanda máxima registrada en el año 2016.....	51
Tabla 8. Pérdidas de energía en el sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.	52
Tabla 9. Estado de cargabilidad de los transformadores a demanda máxima.....	55
Tabla 10. Detalle del estado de los transformadores.....	56
Tabla 11. Consumos ingresados en cabecera en el módulo de distribución de carga del CYMDIST.....	57
Tabla 12. Detalle de las pérdidas de potencia por transformador.....	58
Tabla 13. Pérdidas de energía en los transformadores de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en el cantón Latacunga.....	59
Tabla 14. Calculo de los costos de servicio y operación del transformador de 5 kVA.....	62
Tabla 15. Costos anuales de servicio y operación de los transformadores monofásicos.....	63
Tabla 16. Calculo de los costos de servicio y operación del transformador de 30 kVA.....	68
Tabla 17. Costos anuales de servicio y operación de los transformadores trifásicos.....	69
Tabla 18. Intervalos de eficiencia energética en transformadores monofásicos.....	77
Tabla 19. Intervalos de eficiencia energética en transformadores trifásicos.....	78
Tabla 20. Transformadores seleccionados a ser reemplazados.....	78
Tabla 21. Transformadores a ser medidos.....	79
Tabla 22. Detalle de las pérdidas de potencia reemplazando los transformadores propuestos.....	83
Tabla 23. Pérdidas de energía reemplazando los transformadores de distribución propuestos de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en el cantón Latacunga.....	84

Tabla 24. Recuperación de energía si la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi aceptara la propuesta.....	85
Tabla 25. Presupuesto referencial para el reemplazo de transformadores de distribución.....	86
Tabla 26. Cálculos económicos de la propuesta.	87
Tabla 27. Flujo de económico del proyecto.	87

INDICE DE FIGURAS Y GRAFICAS

Figura 1. Equipo analizador de energía de medio voltaje, ENGRO RM 960PQ, permite tomar registros en medio voltaje de la red de distribución parte del estudio.....	31
Figura 2. Equipo analizador de energía de bajo voltaje, PQ-BOX-100, permite tomar registros en bajo voltaje de los transformadores de distribución objeto de estudio	31
Figura 3. Software CYME, se puede observar la modelación de los circuitos de medio voltaje que dotan de servicio eléctrico al cantón Latacunga	33
Figura 4. Software COMMUNICATOR EXT, permite el manejo de información del analizador de medio voltaje ENGRO RM960PQ	33
Figura 5. Software WINPQ MOVIL, permite el manejo de información del analizador de bajo voltaje PQ-BOX-100	34
Figura 6. Perfil de demanda anual de energía de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A., en el cantón Latacunga.....	39
Figura 7. Curva de demanda de energía del mes de octubre, de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A., en el cantón Latacunga	40
Figura 8. Cuadro de diálogo correspondiente a la distribución de carga en CYMDIST	42
Figura 9. Cuadro de dialogo correspondiente a la propiedades de la carga en CYMDIST.....	43
Figura 10. Diagrama unifilar de los circuitos primarios del cantón Latacunga modelados en CYMDIST.	50
Figura 11. Potencias coincidentes a la potencia máxima registrada por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.	52
Figura 12. Relación de energía suministrada y energía pérdida en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. en el año 2 016.	53
Figura 13. Resultado del flujo de carga.....	55
Figura 14. Distribución del estado de los transformadores por su potencia.....	57
Figura 15. Consumos de cabecera registrados por los medidores ION en las cabeceras de los circuito primarios de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.....	58
Figura 16. Curva de eficiencia energética del transformador de 5 kVA.	61
Figura 17. Curva de eficiencia energética del transformador de 10 kVA.	63
Figura 18. Curva de eficiencia energética del transformador de 15 kVA.	64

Figura 19. Curva de eficiencia energética del transformador de 25 kVA.	64
Figura 20. Curva de eficiencia energética del transformador de 37,5 kVA	65
Figura 21. Curva de eficiencia energética del transformador de 50 kVA.	65
Figura 22. Curva de eficiencia energética de los transformadores monofásicos.....	66
Figura 23. Curva de eficiencia energética del transformador de 30 kVA	67
Figura 24. Curva de eficiencia energética del transformador de 45 kVA trifásico.	70
Figura 25. Curva de eficiencia energética del transformador de 50 kVA trifásico	70
Figura 26. Curva de eficiencia energética del transformador de 60 kVA trifásico	71
Figura 27. Curva de eficiencia energética del transformador de 75 kVA trifásico	71
Figura 28. Curva de eficiencia energética del transformador de 100 kVA trifásico	72
Figura 29. Curvas de eficiencia energética del transformador de 112,5 trifásico.	72
Figura 30. Curvas de eficiencia energética del transformador de 112,5 trifásico	73
Figura 31. Curvas de eficiencia energética del transformador de 112,5 trifásico	73
Figura 32. Curvas de eficiencia energética del transformadores trifásicos	74
Figura 33. Determinación del intervalo de eficiencia energética de los transformadores monofásicos	76
Figura 34. Determinación del intervalo de eficiencia energética de los transformadores trifásicos	77
Figura 35. Localización de los transformadores monofásicos seleccionados, para el desarrollo de la propuesta	79
Figura 36. Curva de demanda del transformador monofásico de 25 kVA, código 5098.	80
Figura 37. Localización de los transformadores trifásicos seleccionados para el desarrollo de la propuesta.....	81
Figura 38. Curva de demanda del transformador trifásico de 45 kVA, N°13	81

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

Título: “Análisis para la Selección de Transformadores de Distribución, en la Ciudad de Latacunga, Propuesta de Aplicación de un Método de Selección Basado en Curvas de Eficiencia Energética, para la Disminución de Pérdidas Energéticas”

Autor: Ing. Diego Renán Parra Parra

Tutor: PhD. González Palau, Iliana

RESUMEN

El presente trabajo tiene la finalidad de proponer una alternativa para la selección de equipos de transformación en las redes de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S. A., el mismo que está enfocado en reducir las pérdidas de energía eléctrica. La propuesta se basa en determinar, el intervalo en el cual los transformadores de distribución trabajan con las menores pérdidas energéticas, para de esta manera tener un criterio de selección en las redes de distribución proyectadas como en las redes de distribución en operación. El capítulo 1, recoge todos los lineamientos y teorías investigadas por otros autores, cuyas conclusiones y resultados han encaminado la investigación a la finalización de la misma. El capítulo 2, indica las técnicas y metodologías empleadas para la recolección de información y procesamiento de la misma, utilizando herramientas informáticas desarrolladas y cumpliendo procedimientos establecidos, para encontrar resultados veraces. El capítulo 3, muestra los resultados de las modelaciones de cada uno de los datos obtenidos, e indica las condiciones actuales en los que se encuentra el sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial

Cotopaxi S.A., teniendo así un punto de partida para la valoración de resultados. El capítulo 4, describe la propuesta donde se dan las soluciones a varias condiciones anormales encontradas en los transformadores instalados en el sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. y señala alternativas para minimizar las pérdidas energéticas en el sistema modelado.

Descriptor: Eficiencia energética, sistema de distribución, transformadores de distribución, pérdidas de energía.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

POSGRADUATE DIRECTION

ENERGY MANAGEMENT MASTERS

Title: ANALYSIS FOR THE SELECTION OF DISTRIBUTION TRANSFORMERS, IN THE CITY OF LATACUNGA, PROPOSED APPLICATION OF A SELECTION METHOD BASED ON ENERGY EFFICIENCY CURVES, FOR THE ENERGY LOSSES DECREASE"

Author: Ing. Diego Renán Parra Parra

Tutor: PhD. González Palau, Iliana

ABSTRACT

The present work has the purpose of proposing an alternative for the selection of transformation equipment in the distribution networks of the Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., the same one that is focused on reducing the losses of electric energy. The proposal is based on determining the interval at which the distribution transformers work with the lowest energy losses, in order to have a selection criterion in the projected distribution networks and in the distribution networks in operation. Chapter 1, contains all the guidelines and theories investigated by other authors, whose conclusions and results have guided the research to the end of it. Chapter 2 indicates the techniques and methodologies used for the collection of information and processing of the same, using computer tools developed and complying with established procedures, to find truthful results. Chapter 3, shows the results of the modelling of each of the data obtained, and indicates the current conditions in which the distribution system of the Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. is located, thus having a

starting point for the valuation of Results. Chapter 4 describes the proposal where the solutions are given to several abnormal conditions found in the transformers installed in the distribution system of the Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. and points out alternatives to minimize energy losses in the modelled system.

Descriptors: Energy efficiency, distribution system, distribution transformers, energy losses.

INTRODUCCIÓN

El uso de combustibles fósiles desde su descubrimiento como fuente primaria de energía, en la actualidad se ha visto abruptamente mermado debido a la explotación indiscriminada del mismo, además luego de más de un siglo de uso, el nivel de contaminación debido al desprendimiento de CO₂ en el proceso de obtención de energía, ha despertado la preocupación de las autoridades de los países con más desarrollo industrial.

Por tal razón convenios como el de Kyoto para los países de la OCDE, programas de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, tienen en la actualidad como objetivo primario, el concientizar e implementar la eficiencia energética.

Dentro de la eficiencia energética, al hablar de la energía eléctrica se observa que la misma podría ser más aprovechada, si se implementa equipos de alto rendimiento, tanto en su transporte como en su producción, tal es el caso, que los transformadores representan alrededor del 3 por ciento del consumo mundial de electricidad y su número en los mercados emergentes se establece en casi el triple para 2 030. Los transformadores más eficientes consumen 80 por ciento menos electricidad que los menos eficientes, las oportunidades de ahorro son enormes.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente espera que la transición mundial hacia los electrodomésticos y equipos eficientes reduciría el consumo mundial de electricidad por alrededor de 1 500 TWh en 2 030, lo que equivale a un ocho por ciento del consumo mundial de electricidad de hoy.

En el Ecuador los derivados del petróleo abastecen actualmente alrededor del 77% del consumo total de energía del país, por lo que, como políticas de gobierno se ha cambiado la matriz energética, inclinándose por el uso de energías renovables y adoptando el uso de equipos de alto rendimiento, y como es conocido, el sector residencial es el segundo mayor consumidor

de energía a nivel nacional después del sector transporte, por tal razón, se ha impulsado la implementación del programa de cocción eficiente.

Situación problemática

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, a través de las empresas eléctricas de distribución, está reforzando las redes e instalando acometidas y medidores a 220 voltios sin costo para los abonados, existiendo al momento en todo el país aproximadamente 1 300 000 hogares que ya disponen de este servicio.

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., actualmente cuenta con 8090 centros de transformación de distribución, que se hallan repartidos a lo largo de la Provincia, sumando 235,05 MV.A de potencia instalada, los mismos que sirven a 117 511 usuarios residenciales y 17 224 usuarios de las diferentes tarifas registradas, dando un total de 134 735 usuarios servidos en Cotopaxi.

Es decir, los centros de transformación con los que, en la actualidad cuenta la Empresa Eléctrica, tienen una vida de servicio de 30 años y su actual empleo corresponde a los diseños realizados en aquellas épocas, es decir, estudios eléctricos de calidad de servicio, no obstante no se ha contemplado otros aspectos de relevancia tales como; el costo energético por operación y mantenimiento o, el costo beneficio en función de la potencia y el número de usuarios, que en algunos casos representan pérdidas energéticas en las empresas eléctricas verdaderamente significativas.

Justificación de la Investigación

Cuando se trata de realizar el diseño de un sistema eléctrico de distribución, y la elección del transformador que abastecerá a los usuarios que serán conectados al mismo, todos los profesionales lo realizan siguiendo métodos y técnicas ya conocidas, las cuales garantizan la

operacionalidad del mismo bajo las condiciones establecidas por el diseñador, sean profesionales en el libre ejercicio, como a los profesionales de las empresas distribuidoras de energía eléctrica. Siendo el único objetivo cubrir los índices de calidad del servicio eléctrico, estipulados en la Regulación 0401 emitida por el ARCONELEC.

No obstante el diseñador como tal, no realiza los análisis energéticos que le permiten observar al circuito diseñado en un futuro, es decir la relación que el mismo tendrá con respecto al incremento de carga a lo largo de su periodo de operación. Dicho de otra manera, el estudio se enfoca en la utilidad que tendría un transformador hasta cierto punto de su demanda eficiente, sin llegar de forma necesaria a su demanda máxima.

Por lo expuesto anteriormente se podría asumir que la investigación propuesta, tiene valides y se encuentra justificada, ya que la misma pretende disminuir las pérdidas energéticas, buscando la eficiencia energética con la determinación de las curvas de uso óptima de los transformadores.

Objeto de estudio de la investigación

Las redes eléctricas de distribución en el área de concesión de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

La Formulación del Problema de Investigación

¿Cómo incide la elección óptima de transformadores, en las pérdidas energéticas por servicio y operación, en las redes eléctricas de propiedad de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en la ciudad de Latacunga?

Campo de acción del objeto de estudio

Las pérdidas de energía eléctrica en los centros de transformación de propiedad de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en la ciudad de Latacunga?

Objetivo general de la investigación

Aplicar un método analítico, basado en curvas de eficiencia energética para la elección óptima de transformadores, que permita disminuir las pérdidas energéticas por servicio y operación, en las redes eléctricas de propiedad de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en la ciudad de Latacunga.

Objetivos específicos

Aplicar un método basado en curvas de eficiencia energética para la selección óptima de transformadores de distribución.

Determinar el límite hasta el cual un transformador opera sin incurrir en pérdidas energéticas, con respecto al transformador de potencia inmediata superior.

Implementar el método propuesto, en el departamento de Proyectos de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., y evaluar el impacto económico producido por la reducción de las pérdidas energéticas.

Hipótesis

La elaboración de un método basado en curvas para la elección óptima de transformadores de distribución, permitirá disminuir las pérdidas energéticas por servicio y operación, en las redes eléctricas de propiedad de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en la ciudad de Latacunga.

Sistemas de tareas por objetivos

- Caracterización de los centros de transformación instalados en la ciudad de Latacunga.

Se ha solicitado a la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., la caracterización de los centros de transformación.

- Medir y obtener las curvas típicas de demanda de energía eléctrica y los consumos energéticos de los centros de transformación.

Se ha instalado 8 analizadores de energía eléctrica, para obtener las curvas de demanda de energía eléctrica y los consumos energéticos de los centros de transformación, información que será ingresada en el software CIMDYS y nos permitirá modelar el sistema eléctrico de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., para determinar las pérdidas de energía eléctrica en los centros de transformación.

- Determinar las curvas de servicio y operación de cada tipo de centros de transformador instalados en la ciudad de Latacunga.

Se ha determinado las curvas de servicio y operación para cada tipo de los centros de transformación instalado en la ciudad de Latacunga

- Generar una propuesta para la elección óptima de centros de transformación

Con los resultados de las mediciones y la modelación del sistema eléctrico de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en el software CIMDYST, se puede sugerir la aplicación de un método de selección de centros de transformación basado en curvas de eficiencia energética.

Alcance de la investigación

El trabajo inicia con la recopilación de la información que analiza, modela y estudia el comportamiento del sistema eléctrico de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en la ciudad de Latacunga, las muestras levantadas en los centros de transformación permiten determinar la caracterización del uso de la energía eléctrica y el consumo de la misma por parte de los usuarios. Con las mediciones realizadas, se ha modelado el sistema actual en el software CIMDYST, determinando de forma precisa las pérdidas de energía en los centros de transformación, así como también con los centros de transformación sugeridos a través de la

aplicación del método de selección de centros de transformación basado en curvas de eficiencia energética. Esto ha permitido comparar las dos situaciones y sugerir la propuesta más adecuada, que permita reducir las pérdidas de energía en los centros de transformación existentes, como también seleccionar centros de transformación que trabajen de forma eficiente en los diseños de las redes eléctricas proyectadas por las empresas dedicadas a esta actividad.

El informe escrito del trabajo ejecutado, se lo ha realizado de forma organizada en cuatro capítulos distribuidos de la siguiente manera:

El capítulo 1, recopila toda la información teórica de la investigación, enfocándonos a las instalaciones propias y características de un sistema de distribución, detallando la estructura del sistema eléctrico de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.,

En el capítulo 2 se detalla la metodología aplicada, el diseño de la investigación, las modalidades, tipos, y las variables dependiente e independiente.

En el Capítulo 3 se presentan los resultados obtenidos, producto del análisis, medición y modelación para determinar el comportamiento de los centros de transformación existentes en el cantón Latacunga.

En el Capítulo 4 se exponen las propuestas sostenibles para el uso adecuado de los centros de transformación, que permitirá reducir las pérdidas de energías.

CAPÍTULO 1

1. Marco conceptual y teórico.

1.1. Caracterización de la investigación

1.1.1. Redes eléctricas de Distribución

Según (Juárez Cervantes, 1 995, p. 11) menciona “las redes de distribución forman una parte muy importante de los sistemas de potencia porque toda la potencia que se genera se tiene que distribuir entre los usuarios y estos se encuentran dispersos en grandes territorios. Así pues, la generación se realiza en grandes bloques concentrados en plantas de gran capacidad y la distribución con cargas de grandes magnitudes. Por esta razón el sistema de distribución resulta todavía más complejo que el sistema de potencia”.

(Horta Martinez, 2 002, p. 16) “en general se dice que un sistema de distribución es el conjunto de elementos electricos interconectados, cuya función es la de suministrar a los usuarios la energía eléctrica producida por las plantas generadoras”. La energía eléctrica generada es transportada por medio del sistema de transmisión a alta tensión, llegando hasta las subestaciones de distribución, que proporcionan tensiones menores de 60kV .

Bajo estos criterios y de acuerdo a la investigación, EMPRESA ELEÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A., cuenta con un sistema de distribución que abastece los siete cantones de la provincia de Cotopaxi, sostenido de diez subestaciones de potencia que energizan treinta y cinco alimentadores de distribución, a un nivel de voltaje de 13,8 kV.

1.1.1.1. Clasificación de las redes eléctricas de distribución

Las redes eléctricas de distribución con las que actualmente EMPRESA ELEÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A., distribuye la energía a los usuarios finales se pueden clasificar de acuerdo a muchas variables como:

1.1.1.1.1. Por su construcción

1.1.1.1.1.1. Redes Aéreas

Por lo económicas que resultan las redes del tipo aéreo y la geografía de la provincia de Cotopaxi, las redes eléctricas aéreas de Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en la actualidad representan el 95% de la infraestructura en lo concerniente a redes de distribución, esto es corroborado con el siguiente criterio.

Según (Soria Gusman & Frias Castañeda, 2 004, p. 39) menciona “línea aérea es aquella está constituida por conductores desnudos ó semiaislados, instalados en espacios abiertos y que están soportados por partes u otro tipo de estructuras con los accesorios necesarios para la fijación, separación y aislamiento de los mismos conductores. Las líneas de distribución aéreas se caracterizan por su sencillez y economía, se montan sobre postes, conductores, semiaislados y desnudos. La configuración más sencilla en estos sistemas es del tipo árbol, consiste de calibre grueso en la troncal y calibres más delgados en las ramificaciones, cuando se requiere mayor confiabilidad se utilizan configuraciones más elaboradas”.

1.1.1.1.1.2. Redes Subterráneas

Según (Soria Gusman & Frias Castañeda, 2 004, p. 40) “los alimentadores primarios en media tensión de distribución subterráneas; son alimentadores que se llevan en canalizaciones de concreto, ductos PVC o directamente enterrados; y son los circuitos encargados de llevar la energía eléctrica desde los transformadores de la subestación de potencia hasta los transformadores de distribución a consumidores, mismos que están contruidos por cables troncales que salen en forma “radial” de la SE y con cables transversales que ligan a las troncales”.

Del criterio expuesto, se puede notar que los costos de construir una red subterránea son elevados, y al ser la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., una empresa de carácter social sin fines de lucro, es fácil notar la inclinación de los profesionales que trabajan en diseño, por construir redes aéreas, sin embargo existen varias políticas de urbanidad, turismo y contaminación visual, que han obligado a todas las empresas distribuidoras a construir este tipo de redes en sectores estratégicos de los cantones con mayor regeneración urbana, contando con un 5% de redes subterráneas pertenecientes a la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

1.1.1.1.2. De acuerdo al nivel de voltaje

El sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en la actualidad maneja dos niveles de voltaje para el suministro del servicio eléctrico, definidos de la siguiente manera:

1.1.1.1.2.1. Redes de distribución primarias

Las redes de distribución primaria de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., tienen como nivel de voltaje en su sistema 13,8 kV, en sistemas trifásicos y 7,9 kV en sistemas monofásicos, que de acuerdo al siguiente criterio se definen como redes de distribución primarias.

Según (Ramirez Castaño, 2 004, p. 39) manifiesta que son circuitos encargados de llevar la energía eléctrica desde los transformadores de la subestación de potencia hasta los transformadores de los usuarios, comúnmente se utiliza tensiones 22 kV, 13,8 kV y 6 kV, (...).Generalmente adoptan configuraciones que permiten hacer movimientos de carga con relativa facilidad, llevar acabo ampliaciones en la red con un mínimo de modificaciones, además de asegurar el máximo de continuidad y operar de la manera más eficiente posible.

Sin embargo con el afán de reducir las pérdidas de energía, en los circuitos primarios, la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., cuenta con estudios que contemplan el cambiar de su nivel de voltaje en las zonas urbanas a 22 kV.

1.1.1.1.2.2. Redes de distribución secundarias

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en la actualidad realiza su distribución secundaria con sistemas de distribución trifásicos 220V a cuatro hilos, bifásicos 220V a tres hilos y monofásicos 127V&110V a dos hilos y 220 a tres hilos con transformadores de fase partida, configuraciones que pueden ser descritas como distribución secundaria de acuerdo al siguiente criterio.

Según (Soria Gusman & Frias Castañeda, 2 004, p. 42) menciona que estos circuitos llevan la energía eléctrica de los transformadores de distribución hasta las acometidas de los usuarios en baja tensión, por lo general con tensiones de 127V de fase a neutro y 220V de fase a fase. Las acometidas son los puntos de interconexión entre los usuarios y los circuitos de los transformadores de distribución.

1.1.1.1.3. De acuerdo a la ubicación geográfica

1.1.1.1.3.1. Redes de distribución urbana

Las redes de distribución urbana, son aquellas encargadas de dotar de servicio eléctrico a los centros urbanos, teniendo como particularidad el no ser extensas, pero con un alto índice de carga concentrada, según (Ordoñez & Nieto, 2 010) “Alimenta la distribución de energía eléctrica a poblaciones y centros urbanos de gran consumo, pero una densidad de cargas pequeña. Son sistemas en los cuales es muy importante la adecuada selección en los equipos y el dimensionamiento.”(p. 29).

1.1.1.1.3.2. Redes de distribución rurales

Estas redes principalmente se caracterizan por ser extremadamente largas, debido a que en las zonas que electrifican tienen centros de carga bastante dispersos y, son principalmente atendidos con circuitos primarios trifásicos en los centros poblados y con derivaciones monofásicas en sus alrededores, como lo define el siguiente criterio.

Según (Ordoñez Sanclemente & Nieto Alvarado, 2 010, p. 29) manifiesta estos sistemas de distribución se encargan del suministro eléctrico a zonas de menor densidad de cargas, por lo cual requiere de soluciones especiales en cuanto a equipos y a tipos de red. Debido a las distancias largas y las cargas pequeñas, es elevado el costo del kWh consumido.

1.1.1.1.3.3. Redes de distribución suburbanas

Proyectos urbanísticos y de vivienda realizados con el afán de descongestionar el casco urbano, se han construido de forma privada, expandiendo las viviendas a sectores que anteriormente eran urbano marginales, no obstante por la densidad de carga concentrada que esto representa, la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., ha dotado de servicio eléctrico con circuitos troncales aéreos trifásicos, siendo responsabilidad de los ejecutores de las obras civiles ejecutadas, el realizar las redes internas de las urbanizaciones de forma subterránea, enmarcadas dentro del siguiente criterio.

Según (Vásquez, 2 013, p.17) menciona que estos sistemas se construyen en zonas urbanas con alta densidad de carga y fuertes tendencias de crecimiento, debido a la confiabilidad de servicio y la limpieza que estas instalaciones proporcionan al paisaje (mejora la estética). Naturalmente, este aumento en la confiabilidad y en la estética involucra un incremento en el costo de las instalaciones y en la especialización del

personal encargado de construir y operar este tipo de sistema. Los sistemas subterráneos en general están constituidos por transformadores tipo interior o sumergible, cajas de conexión, interruptores de seccionamiento, interruptores de seccionamiento y protección, cables aislados, etc.: los que se instalan en locales en interior de edificios o en bóvedas, registros y pozos construidos en banquetas.

1.1.1.1.3.4. Redes de distribución turísticas

En la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., este tipo de redes se han construido principalmente en sectores de gran confluencia turística o en lugares donde los municipios han intervenido con regeneración urbana. Según Ramirez (2004) estas redes están construidas “Donde los ciclos de carga están relacionados con las temporadas de vacaciones, y donde se impone la construcción subterránea para armonizar con el entorno.” (p. 11).

1.1.1.1.4. De acuerdo al tipo de cargas

1.1.1.1.4.1. Redes de distribución para cargas residenciales

De acuerdo a las cargas residenciales, las redes de distribución tienen la particularidad de estar conformadas principalmente de usuarios, que usan el servicio eléctrico con fines domiciliarios, es decir artefactos y electrodomésticos que sustenten los servicios básicos y aumente el confort del hogar en sus viviendas.

Según (Narvaez Lopez & Prado Linero, 2012, p. 27) “las cargas residenciales comprenden básicamente los edificios de apartamentos, condominios, urbanizaciones, etc. Estas se caracterizan por ser totalmente resistivas con la presencia de algunos electrodomésticos que tienen pequeñas características reactivas. Los consumidores residenciales se encuentran bien definidos por zonas dentro de las ciudades o

urbanizaciones y se caracterizan porque de acuerdo a las clases socioeconómicas será el consumo de energía. Los estratos más altos de la sociedad consumen más energía”.

1.1.1.1.4.2. Redes de distribución para cargas comerciales

Con el desarrollo de los sectores urbanos, las zonas residenciales de estos sectores en la actualidad se han convertido en zonas comerciales, por lo que la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., ha dado un tratamiento de readecuación de su sistema de distribución que garantice el fluido eléctrico a este sector, como lo manifiesta el siguiente criterio.

Según (Ordoñez & Nieto, 2 010, p.28) “es un término colectivo para sistemas de energía existentes dentro de grandes complejos comerciales y municipales, tales como edificios de gran altura, bancos, supermercados, escuelas, aeropuertos, hospitales, puertos, etc. Estos tipos de sistemas tienen sus propias características, como consecuencia de las exigencias especiales en cuanto a seguridad de las personas y de los bienes, por lo que generalmente requieren de importantes fuentes de respaldo en casos de emergencia”.

1.1.1.1.4.3. Redes de distribución para cargas industriales

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en la actualidad distribuye la energía eléctrica al sector industrial a través de diferentes niveles de voltaje, el mismo que se lo hace de acuerdo al requerimiento individual de cada industria, no obstante existen criterios que definen las redes de distribución industriales como:

Según (Ordoñez & Nieto, 2 010, p.28) “comprende los grandes consumidores de energía, tales como las industrias del acero, químicas, petróleo, papel, etc. Que generalmente reciben el suministro eléctrico en alta tensión. Es frecuente que la industria genere parte de su demanda de energía eléctrica mediante procesos a vapor, gas o diésel”.

Sin embargo, gran parte de la población de la provincia de Cotopaxi ha optado por la microindustria, que generalmente se han concentrado en sectores, convirtiendo las cargas eléctricas en verdaderos centros de potencia instalada, es así que para estos sectores la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., ha dotado del suministro de energía con circuitos trifásicos reforzados.

1.1.1.1.4.4. Redes de distribución para cargas de alumbrado público

Según (Ordoñez & Nieto, 2 010) “incluye las exigencias relativas al alumbrado y a su instalación en vías expresas, arterias principales, vías colectoras, calles, locales, cruces, plazas, parques, etc., formado por luminarias, lámparas y los accesorios para el montaje”(p. 32). Es decir, son parte de cada sistema de distribución, es importante anotar que la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., a optado por el uso de equipos de eficiencia energética, como luminarias de doble potencia en sectores donde el requerimiento del alumbrado es prioritario en ciertos horarios.

1.1.1.1.4.5. Redes de distribución para cargas mixtas

Según (Ramirez 2 004) “En este tipo de redes se tienen varias de estas cargas en una misma red de distribución. No muy deseables pues se dificulta el control de pérdidas.”(p.12). Siendo esta la configuración mas comun dentro de las redes de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., esto se debe principalmente lo economico que resulta atender diversa cargas con la misma estructura electrica y tambien a la diversidad de las cargas en el sistema.

1.1.1.1.5. De acuerdo a su configuración

1.1.1.1.5.1. Redes de distribución tipo radial

Según (Bernstein, 1 999, p.6) “los sistemas radiales son aquellos en que desde una subestación salen uno o más alimentadores (feeders). Cada uno de ellos puede o no ramificarse, pero jamás vuelven a encontrar un punto común. Estos sistemas, sencillos y fáciles de controlar y proteger, son evidentemente los más baratos, pero son los que menos ofrecen seguridad de servicio. En alta tensión se suele instalar circuitos redundantes para mejorar la seguridad de servicio”.

De acuerdo a lo mencionado, esta es una característica de los sistemas de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., si bien dentro de sus redes existen circuitos que físicamente se encuentra mallados o en anillos, no se conciben eléctricamente de esa manera, esto se debe a que no existen equipos de protección bidireccionales en el sistema de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

1.1.1.1.5.2. Redes de distribución tipo anillo

Según (Bernstein, 1 999, p.6) “Por otro lado los sistemas en anillo permiten mejores condiciones de seguridad de servicio al ser alimentados en paralelo desde varias fuentes a la vez, mediante líneas continuas, sin interrupciones. El número de anillos así formado es siempre reducido y cada uno puede contener derivaciones más o menos importantes y ramificadas. Ahora bien, en caso de problemas con una fuente (transformador), es posible mantener la alimentación de los consumos desde las fuentes restantes. Si falla uno de los anillos, puede aislarse el trozo fallado y alimentar desde ambos lados en forma radial. Mientras mayor sea el número de trozos en que pueda dividirse el anillo, mayor

será la seguridad, pero también el costo. Por último, la protección y el control de un anillo son más complicados y caros que los de un alimentador radial”.

Como se mencionó en las redes de distribución radiales, la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., cuenta con estructuras que se pueden identificar como anillo, pero esto se debe principalmente a trabajos de operación y mantenimiento que la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., realiza de forma continua en sus redes.

1.1.1.1.5.3. Redes de distribución tipo malla

Finalmente, (Bernstein, 1 999, p.7) manifiesta “los sistemas enmallados son aquellos en que las líneas forman anillos, obteniéndose una estructura similar a una malla. Esta disposición exige que todos los tramos de línea acepten sobrecargas permanentes, y estén preunidos de equipos de desconexión en ambos extremos. Se obtiene así la máxima seguridad, aunque también el mayor costo. Este tipo de redes se emplean en sistemas de transmisión importantes, así como en la distribución de algunas grandes ciudades en el mundo”.

De acuerdo a este criterio y a lo mencionado en las redes de distribución radial, la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., cuenta con sistemas mallados que son utilizados para realizar trabajos de operación y mantenimiento, y no cuentan con la robustez necesaria para mantener las cargas operando por varios periodos de tiempo.

1.1.1.2. Estructura de un sistema de distribución

1.1.1.2.1. Alimentadores primarios

1.1.1.2.1.1. Redes de distribución primarias trifásicas

Según (Stevenson, 1 985, p.23) “los sistemas de redes son alimentados por generadores trifásicos. Por lo común los generadores alimentan cargas trifásicas balanceadas, lo cual

significa cargas con impedancia idénticas en todas las tres fases. Las cargas de alumbrado y motores pequeños son, por supuesto, monofásicas, pero los sistemas de distribución se diseñan para que las fases estén esencialmente balanceados”.

Por la robustez del sistema trifásico y la viabilidad de transportar más potencia, estos sistemas han sido adoptados en todas las distribuidoras de energía eléctrica, es por tal razón que la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., tiene redes de distribución primarias trifásicas en los principales circuitos denominados troncales y en las derivaciones que dotan del servicio eléctrico a cargas importantes como a zonas densamente pobladas o zonas industriales.

1.1.1.2.1.2. Redes de distribución primarias bifásicas

Según (Erik, s.f., p.1) “Un sistema bifásico es un sistema de producción y distribución de energía eléctrica basada en dos tensiones eléctricas alternas desfasadas en su frecuencia 90° . En un generador bifásico, el sistema está equilibrado y simétrico cuando la suma vectorial de las tensiones es nula (punto neutro) que ocurre cuando las tensiones son iguales y perfectamente desfasadas 90° ”.

En una línea bifásica se necesitan cuatro conductores, dos por cada una de las fases. Actualmente el sistema bifásico está en desuso por considerarse más peligroso que el actual sistema monofásico a 230 V, además de ser más costoso al necesitar más conductores.

De acuerdo al criterio antes mencionado las redes de distribución bifásica son más complejas y costosas, por tal razón la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., ha manejado dos tipos de redes de distribución, siendo estos trifásicos y monofásicos.

1.1.1.2.1.3. Redes de distribución primarias Monofásicas

Un sistema monofásico según (Quimis, s.f., p. 1) “es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por una única corriente alterna o fase y por lo tanto todo el voltaje varía de la misma forma. La distribución monofásica de la electricidad se suele usar cuando las cargas son principalmente de iluminación y de calefacción, y para pequeños motores eléctricos. Un suministro monofásico conectado a un motor eléctrico de corriente alterna no producirá un campo magnético giratorio, por lo que los motores monofásicos necesitan circuitos adicionales para su arranque, y son poco usuales para potencias por encima de los 10 kW. El voltaje y la frecuencia de esta corriente dependen del país o región, siendo 230 y 115 Voltios los valores más extendidos para el voltaje y 50 o 60 Hercios para la frecuencia”.

Debido al costo que estas redes de distribución representan, son adecuadas para la distribución de energía eléctrica, la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., a optado por dotar del servicio eléctrico a los sectores con más densidad de carga con redes de distribución trifásicas, con el objetivo de mantener un sistema balanceado, y a realizado derivaciones con redes de distribución monofásica, procurando mantener el sistema balanceado .

1.1.1.2.2. Transformadores de distribución

1.1.1.2.2.1. Trifásicos

Según (Horta, 2 002, p.42) “poseen los devanados trifásicos uno en el primario y otro en el secundario, en los sistemas de distribución es más usual su instalación porque representa más economía por el ahorro de cobre y aislamientos en su construcción y además tienen mayor versatilidad de operación que un monofásico”.

Como se ha mencionado anteriormente el uso de sistemas trifásicos al igual que los transformadores trifásicos, se debe principalmente a lo eficiente del sistema, es por tal razón que la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., ha priorizado el uso de los mismos en sectores donde la cargas instaladas son representativas, sean estas de tipo residencial, comercial e industrial.

1.1.1.2.2.2. Monofásicos

Según (Horta, 2 002, p.42) menciona “Desde el punto de vista operativo para los sistemas de potencia es más conveniente utilizar transformadores monofásicos, y formar con estos bancos trifásicos, ya que al fallar una unidad se pueden conectar las otras dos en delta abierta y absorber la carga. Esto se puede hacer en caso de una reparación o un reemplazo inmediato. Su principal característica es que poseen un devanado en el primario y uno en el secundario”.

Si bien es cierto que los sistemas trifásicos son mas robustos y eficientes, existen sectores que por la lejanía la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., a decidido incorporar sistemas monofásicos, los mismos que usan transformadores del mismo tipo, estos en si permiten obtener un sistema denominado bifasico por los usuarios pero que en la realidad son monofásicos a tres hilos, a demas los costos de un sistema de distribución monofásico es mas barato en todas sus etapas por lo que la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., a priorizado el uso de los mismos en los sectores rurales o donde la carga no es significativamente densa.

1.1.1.2.3. Circuitos secundarios

Según (Ordoñez & Nieto, 2 010), define a los circuitos secundarios como el “Conjunto de líneas que transportan la energía a lo largo de las calles a un nivel de voltaje de utilización

que enlazan al transformador de distribución con las acometidas” (p.32). Los circuitos secundarios de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., principalmente se componen de redes aéreas desnudas y preensambladas, las mismas que se ajustan a los lineamientos de control en cuanto a la calidad del servicio eléctrico.

1.1.1.2.4. Acometidas

En su estudio Ordoñez & Nieto, (2 010), menciona que las acometidas son las que “Transportan la energía de las redes de distribución secundaria a los empalmes del contador de cada abonado” (p.32). En el año 2 016 la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., atiende 134 735 usuarios de los cuales 5 320 pertenecen a la ciudad de Latacunga.

1.1.1.2.5. Contadores de energía

(Ordoñez & Nieto, 2 010), cataloga a los contadores como el dispositivo que “Censa el consumo de energía en kilovatios hora para su respectiva facturación” (p.32). En el año 2 016 la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., atiende 134 735 usuarios de los cuales 5 320 pertenecen a la ciudad de Latacunga.

1.2. Marco teórico

1.2.1. Pérdidas de energía eléctrica en sistemas de distribución

1.2.1.1. Pérdidas resistivas

Según Poveda, 1 999, (p.610) las pérdidas resistivas se calculan con base en la expresión I^2R . En cada subsistema se calculan las pérdidas resistivas para la demanda máxima de la carga por los métodos usuales y con esa base se obtiene las pérdidas resistivas en un intervalo dado a través de la relación cuadrática entre la demanda en dicho intervalo y la demanda máxima. El procedimiento descrito se puede aplicar para todas las pérdidas resistivas, es decir, en las líneas de los sistemas de transmisión y distribución, en las

líneas primarias, para las pérdidas resistivas de los transformadores de subtransmisión y distribución, para las líneas secundarias y para los conductores de las acometidas.

1.2.1.2. Pérdidas de energía en transformadores de distribución

Según Aillón Sánchez, 2 010, (p.18) las pérdidas en potencia en los transformadores se originan por dos causas, la primera porque en el núcleo se presentan corrientes parásitas o de Foucault y también por el efecto de histéresis. La segunda en el cobre ya que, debido a la circulación de corriente los conductores se calientan, estas pérdidas son proporcionales a la resistencia de cada devanado y a la corriente que circula por ellos.

Campos Avella, y otros, (p.11) las pérdidas en transformadores no son despreciables, por lo cual, es importante considerar su magnitud al seleccionar los transformadores del sistema de distribución, las pérdidas totales en cargas de un transformador son iguales a las pérdidas en el hierro (pérdidas en vacío) más las pérdidas en el cobre.

1.2.1.2.1. Pérdidas en el núcleo o hierro

Según Poveda, 1 999, (p.610) las pérdidas en el núcleo dependen de la densidad de flujo magnético en el mismo, la cual a su vez depende del voltaje de alimentación al transformador y puede ser considerada como independiente de la variación de la demanda es decir, permanece constante durante todo el periodo de análisis despreciado las variaciones de voltaje.

1.2.1.2.2. Pérdidas en el cobre

Según (Aillón Sánchez, 2010), p. 20) son conocidas también como pérdidas en los devanados, las mismas que se producen debido a las corrientes que producen las cargas conectadas al transformador. “La variación del valor de la pérdida resistiva de potencia en los

devanados es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de corriente y a la resistencia del conductor de los devanados”

1.2.2. Cargabilidad de transformadores de distribución

Según (Alcón Mesa & Ramos Gómez, 2 010, (p. 28) la duración de la vida de un transformador se encuentra muy vinculada con la cargabilidad de ese transformador, partiendo de que la vida útil de un transformador se puede asimilar a la vida de su aislamiento sólido. Un transformador que funciona a regímenes de carga muy elevados verá reducida la vida de su aislamiento (...) a un ritmo mucho más alto que un transformador que trabaja en regímenes de carga inferiores, por lo tanto resultará fundamental analizar qué aspectos influyen sobre la cargabilidad de un transformador y como se pueden buscar las condiciones que permitan optimizar la utilización de éste a partir de esos parámetros que intervienen en su cargabilidad.

1.2.2.1. Carga segura en transformadores de distribución

Se denomina carga segura de un transformador según (Alcón Mesa & Ramos Gómez, 2 010, p. 73) a los valores de trabajo de éste en los cuales ante un fallo simple por su parte o por parte de un transformador vecino el funcionamiento del sistema sea el mismo que antes de producirse el fallo.

El cumplimiento del criterio de carga segura puede hacer ver que una red está sobredimensionada y que se han desaprovechado recursos económicos, de ahí que resulte fundamental asimilar bien este concepto para evitar que el criterio del aprovechamiento económico priorice sobre el de la seguridad de una red.

1.2.2.2. *Indicadores de cargabilidad de transformadores de distribución*

1.2.2.2.1. *Indicador de aprovechamiento del equipo*

Según (Alcón Mesa & Ramos Gómez, 2 010, p. 73) para determinar el aprovechamiento u ocupación de un transformador se pueden emplear dos indicadores distintos (...): las horas equivalentes a plena carga (HEPC) y las horas equivalentes a plena carga segura (HEPCS). (...) Las HEPC se definen como el número de horas, en un período determinado, que se corresponderían con el trabajo a pleno rendimiento del transformador. (...) Las HEPCS se definen como el número de horas, en un periodo determinado, que se corresponderían con el trabajo a pleno rendimiento del transformador en el caso de que tuviera que cubrir.

1.2.2.2.2. *Indicador de severidad de sobrecarga*

(Alcón Mesa & Ramos Gómez, 2 010), p. 77 “Para evaluar el daño que una sobrecarga puede provocar sobre el transformador, se empleará el indicador de la velocidad de envejecimiento equivalente, (...). Este parámetro es directamente proporcional a la pérdida de vida del transformador ante una sobrecarga, por lo que será asimilable totalmente a la severidad de ésta.”

1.2.2.2.3. *Indicador de apuntamiento de la curva de carga*

(Alcón Mesa & Ramos Gómez, 2 010, p.78) este parámetro permitirá cuantificar en qué medida la curva de carga de un transformador tiene valores más o menos dispersos para sus máximos y mínimos. Realizar un estudio del apuntamiento de una curva permitirá determinar la variabilidad de una demanda y de esta forma se podrá dimensionar de una manera óptima la potencia de transformación que será necesaria.

1.2.2.3. *Rendimiento de un transformador de distribución*

(Lemozy, 2 009, p. 1) el conocimiento del rendimiento de cualquier máquina, dispositivo o sistema tiene una gran importancia por el valor económico que ello reporta, tanto desde el punto de vista del costo de operación como del ambiental. En general el rendimiento de una máquina, normalmente indicado con la letra griega η , está dado por el cociente de las potencias de salida y de entrada.

1.2.3. Demanda de energía eléctrica en sistemas de distribución

1.2.3.1. *Estratificación de los usuarios*

Según la (SIGLA, 2 004, p. 38) “La estratificación óptima es la que permite dividir los grupos homogéneos en subpoblaciones homogéneas con respecto a la variable de interés que en el presente caso es la contribución a la potencia de punta por nivel de tensión”.

1.2.3.2. *Curvas de demanda de energía eléctrica*

1.2.3.2.1. *Curvas de demanda de energía eléctrica residencial*

Según (Haro Naranjo, 2 015, p. 6) “La característica principal de esta curva es que su máximo se origina desde las 18h30 a 22h30 debido a que es el período de tiempo donde la mayoría de las personas coinciden en llegar a sus casas y hacer uso de aparatos electrodomésticos. Esto ocurre de lunes a viernes considerando que la mayoría de personas tienen jornadas de trabajo durante esos días, mientras que sábado y domingo descansan”.

1.2.3.2.2. *Curvas de demanda de energía eléctrica comercial*

(Haro Naranjo, 2 015, p. 7) “La característica de la curva comercial es registrar la demanda máxima desde las 12h30 hasta las 16h00 debido a que es el momento de mayor coincidencia de trabajo de los clientes”.

1.2.3.2.3. Curvas de demanda de energía eléctrica industrial

(Haro Naranjo, 2 015, p. 8) “Se caracteriza por tener su máximo aproximadamente desde las 10h00 a 20h00 debido a que las máquinas funcionan en horario continuo durante el día”

1.2.4. Función de costos

(Csirke, Doubleday, Gulland, & Boerema, 1 985, p. 1) “Un punto fundamental en el análisis de costos es la relación funcional que existe entre los costos y la producción por período de tiempo. Una función de costos presenta distintos resultados cuando la planta trabaja con diferentes porcentajes de utilización. Pero, como se indicó anteriormente, la producción es una función del modo en que se utilicen los recursos”.

1.2.4.1. Curvas de costo promedio en el largo plazo

1.2.4.1.1. Consumos energéticos variables

(Rojas Medina, 2 007, p. 11) “Son aquellos que cambian o fluctúan en relación directa a una actividad o volumen dado”.

Es decir, los consumos energéticos variables de un transformador, son aquellos en los que el equipo incurre en su estado de operación con carga, y son variables, también son conocidos como consumos energéticos en el cobre de un transformador, y se hallan directamente relacionados con el comportamiento de la demanda.

1.2.4.1.2. Consumos energéticos fijos

(Rojas Medina, 2 007, p. 11) “Son aquellos que permanecen constantes dentro de un período determinado, sin importar si cambia el volumen de producción”.

Es decir, los consumos energéticos fijos de un transformador, son aquellos en los el equipo incurre en su estado de operación sin carga, y son constantes a lo largo de su

funcionamiento mientras el mismo se halle energizado, también son conocidos como consumos energéticos en el núcleo de un transformador.

1.3. Fundamentación teórica de la investigación

1.3.1. Antecedentes de Estudio

En la actualidad no se han determinado estudios definidos respecto al uso adecuado de transformadores en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., considerando las pérdidas de energía por servicio y operación, no obstante como criterio primordial al diseñar líneas eléctricas de transmisión, distribución y alimentación domiciliaria o industrial, se ha desarrollado análisis, que ayudan a determinar el sistema de conductores eléctricos que representara la mejor opción en función las pérdidas de energía por servicio, instalación y explotación,

Según (Oscullo Marcillo, 2 001, p.) la crisis energética que afecta al país se debe principalmente a la no ejecución o retraso de proyectos de generación de energía eléctrica por la falta de recursos económicos; de allí que hubo la necesidad de efectuar cambios que se están realizando con la llamada Modernización del Sector eléctrico (Concesión de las partes del sistema eléctrico tales como: generación, transmisión y distribución a manos privadas e independientes entre si (...))

Tomando en cuenta todas estas consideraciones se ha visto la necesidad de optimizar el uso de los transformadores de distribución; para lo cual se han realizado estudios en los cuales se desarrollan métodos que tratan de lograr el uso eficiente de los transformadores de distribución.

Sin embargo en la actualidad el gobierno nacional de turno, ha invertido en sector eléctrico, esto con el fin de cambiar la matriz productiva del país, significando que las Empresas

Electricas de Distribución deben enfocarse en realizar procesos mucho más eficientes para el despacho de energía a los consumidores finales, no obstante el uso eficiente de la energía eléctrica es un asunto de consientización de los usuarios del sistema eléctrico de distribución, quedando para las Empresas Electricas de Distribución el uso de materiales, equipos y técnicas de ingeniería para reducir las pérdidas de energía eléctrica por transporte y distribución de la misma.

Según (Grijalva Torres, 1 998, p. 1), en nuestro país las Empresas Eléctricas mantienen funcionando transformadores de distribución cuyas pérdidas dadas por la características de construcción de los transformadores como también por la carga, no siempre son conocidas. Además, no se han hecho un estudio para determinar si es factible económicamente conservar un transformador antiguo que se encuentra en servicio o si es recomendable cambiarle por un nuevo de menores pérdidas.

Si bien es cierto, en la actualidad se encuentran en operación equipos de transformación de distribución, cuya función es principalmente la de disminuir el nivel de voltaje para el empleo de los usuarios en sus domicilios, los mismos no fueron contruidos e instalados bajo un criterio de eficiencia energética, es decir el simple reemplazo de los equipos antiguos por equipos mucho más eficientes debiera ser complementado con un criterio de instalación, que optimice el uso del transformador a lo largo de su utilización.

“La selección de la capacidad de los transformadores de distribución se realiza con base en la corriente con la que se clcula las acometidas y ramales alimentadores de las redes de baja tensión, lo cual trae como consecuencia un sobredimensionamiento” (García Gómez, Navas, & Rivas, 2 016, p. 268). Es decir el sobredimencionamiento de las capacidades de los transformadores, han producido pérdidas de energía desde su instalación, hasta la actualidad.

Todos los estudios y propuestas para la aplicación de un criterio de selección de transformadores, a través de eficiencia energética en los diseños de redes de distribución nuevas, remodelaciones o repotenciación del sistema eléctrico de distribución, se han visto impulsados en la actualidad debido al cambio de la matriz productiva por la que atraviesa el país.

1.3.2. Fundamentación Legal y Ambiental

Existen varias leyes y reglamentos que soportan la investigación que se va a realizar entre las más importantes se citarán:

1.3.2.1. *Fundamentación legal para el uso de energías alternativas*

La investigación se encuentra plenamente fundamentada debido a que el gobierno nacional de turno ha impulsado políticas, leyes y regulaciones ambientales, que garantizan el uso adecuado de los recursos naturales.

Art. 86.- El derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable.

Art. 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientales limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

Art. 414.- El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo.

Art. 415.- El Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso del suelo,

que permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de la fauna urbana e incentiven el establecimiento de zonas verdes. Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos. (Asamblea Constituyente, 2 008, p. 124)

Además, de forma particular el sector eléctrico se encuentra inmerso dentro de las políticas de gobierno, debido al cambio de matriz productiva las Empresas Eléctricas de Distribución son las encargadas de mejorar el uso eficiente de equipos en todos los procesos de distribución de la energía eléctrica.

Art. 1.- Deber del Estado.- El suministro de energía eléctrica es un servicio de utilidad pública de interés nacional; por tanto, es deber del Estado satisfacer directa o indirectamente las necesidades de energía eléctrica del país, mediante el aprovechamiento óptimo de recursos naturales, de conformidad con el Plan Nacional de Electrificación. (Asamblea Constituyente, 2 014, p. 1)

1.3.2.2. *Fundamentación Ambiental*

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- 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. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia,

comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional. (Asamblea Constituyente, 2 008, p. 13)

1.4. Bases teóricas particulares de la investigación

1.4.1. Sistema Eléctrico de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., con el afán de dotar de servicio eléctrico a los cantones de la Provincia de Cotopaxi, cuenta con un sistema de eléctrico de tipo radial con niveles de voltaje normados de 69kV en subtransmisión, 13,8 / 7,9 kV en distribución primaria y 220 / 127 / 110 V en distribución secundaria.

En lo particular el Cantón Latacunga, tiene cinco subestaciones como son: El Calvario, San Rafael, La Cocha, Mulaló y Lasso, las cuales abastecen a todos los usuarios residenciales, comerciales, industriales y grandes consumidores del cantón.

1.4.2. Área de concesión

Desde el año de 1 978 paralelamente a la remodelación de redes se inicia la expansión del sistema y es así que en forma planificada y paulatina fue extendiendo sus redes eléctricas de distribución y actualmente ha rodeado las redes de las empresas eléctricas adyacentes impidiendo su avance. Con el fin de dar cumplimiento a la Ley de Régimen del Sector Eléctrico y en una reunión con todas las Empresas Eléctricas del País se fijaron los límites de áreas de concesión y en el mes de Octubre de 1998 en las oficinas

del Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, organismo rector del sector energético se firmó el acta de Límites de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., del área de concesión tal como se indica (Rámon Fonseca & Saavedra Acosta, 2 011, p. 71)

No obstante, para el año en el que se firmó el acta entre las Empresas Eléctricas del País, se excluyeron parte de los cantones La Maná y Sigchos, pero con la construcción de las subestaciones La Maná y Sigchos, estos sectores pudieron ser integrados como parte del área de concesión de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S. A.

En la actualidad la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S. A., posee el área de concesión similar a la delimitación territorial de la Provincia de Cotopaxi.

1.4.3. Descripción del sistema eléctrico de distribución primario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S. A.

1.4.3.1. Fuentes de suministro

El sistema eléctrico de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., cuenta con dos fuentes de suministro de energía: la generación local y tres nodos del S.N.I., estos nodos son los de mayor aporte de la energía consumida.

1.4.3.1.1. Generación local

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., a pesar de ser una empresa de distribución, ha conservado centrales de generación hidráulica que han servido a los cantones de la provincia de Cotopaxi desde las primeras etapas de electrificación.

Centrales como Illuchi 1 e Illuchi 2 ubicadas en el Cantón Latacunga son las más grandes y, tienen una capacidad de 5,24 MVA y 6,5 MVA respectivamente.

Otras centrales se encuentran ubicadas en el cantón Pujilí, siendo estas: El Estado con una capacidad de 2,125 MVA y la central Angamarca con una capacidad de 0,375 MVA, es

importante mencionar que estas centrales cumplen con la función adicional de regular el nivel de voltaje en el circuito primario al que se encuentran conectadas.

En el cantón Pangua se encuentra generando la central Catazación de 1 MVA, que de forma similar a las dos centrales ubicadas en el cantón Pujilí cumple con la función de regular el nivel de voltaje en el circuito primario al que se encuentran conectadas.

1.4.3.1.2. Nodos del Sistema Nacional Interconectado

El sistema eléctrico de potencia de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en la actualidad se enlaza al S.N.I. a través de tres nodos de conexión, el primero está ubicado en la subestación Mulaló a 138 kV del cual se energiza el sistema de 69 kV, dotando de servicio eléctrico a las subestaciones: Mulaló, Lasso, Sigchos, La Cocha y San Rafael.

El segundo punto se deriva de la subestación Ambato y dota de servicio eléctrico a las subestaciones de Salcedo y la privada de HOLCIM.

El tercer punto se deriva de la subestación Quevedo y dota de servicio eléctrico a la subestación La Maná.

1.4.3.2. Sistema de distribución primario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S. A.

El Sistema de distribución primario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en la actualidad cuenta con treinta y cinco circuitos de media tensión con un nivel de voltaje de 13,8 Kv, de los cuales veinte y ocho son de tipo residencial.

En lo particular el cantón Latacunga se sirve de energía eléctrica de quince circuitos primarios.

1.4.3.2.1. Transformadores de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S. A.

Los transformadores de distribución, con los que en la actualidad la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., dota de servicio eléctrico son de características variadas, empleando del tipo trifásico con un nivel de voltaje de servicio de 220 V y 127 V, utilizados principalmente en los sectores de demanda de energía consolidada o en sectores industriales de la Provincia, los de tipo monofásico se emplean en sectores de demanda energética más distribuida.

1.5. Conclusiones del Capítulo 1

- El uso de métodos de selección de transformadores de distribución en los diseños de electrificación, ayudan a sostener la demanda requerida por la carga instalada en el sistema, sin embargo se puede disminuir las pérdidas de energía de varios equipos y sistemas, simplemente mejorando los procedimientos de selección de transformadores.
- La constitución de la república del Ecuador promueve el uso de eficiencia de la energía eléctrica, sin embargo es responsabilidad de las Empresa Eléctricas de Distribución del País, elaborar estudios de eficiencia energética y difundirlos a las empresas que emplean como principal medio de energía los sistemas eléctricos.

CAPITULO 2

2. Metodología

2.1. Diseño de la investigación

Se recopila de forma ordenada toda la información a través de métodos y técnicas de investigación, para articular de forma estructurada todos los datos adquiridos, con el fin de facilitar el entendimiento y comprensión de los resultados obtenidos. Cabe señalar que la investigación evalúa la información histórica generada por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. en el año 2 016, debido que es la información anual más actualizada disponible.

2.1.1. Modalidad de la investigación

Dentro de la investigación se adoptaran dos modalidades de investigación, las mismas que se describen a continuación:

2.1.1.1. Documental

La Modalidad Documental.- según (Rodríguez Medina, 2 015, p. 20), manifiesta que este tipo de investigación es la que se realiza apoyándose en fuentes de carácter documental, esto es, en documentos de cualquier especie. Dentro de la investigación, esta modalidad permitirá realizar consultas en libros, trabajos de investigación de varios autores, archivos históricos dentro de los datos de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., que serán adquiridos en la Dirección de Planificación en el área de Estudios Técnicos, a través de oficios que autoricen la adquisición de la información.

2.1.1.2. De campo

La Modalidad de Campo.- según (Rodríguez Medina, 2 015, p. 20), manifiesta que este tipo de investigación se apoya en informaciones que provienen entre otras, de entrevistas,

cuestionarios, encuestas y observaciones. En esta se obtiene la información directamente en la realidad en que se encuentra, por lo tanto, implica observación directa por parte del investigador.

Dentro de la investigación, esta modalidad permitirá levantar la información en los transformadores perteneciente a la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., que se encuentran instalados actualmente, tomar muestras del comportamiento de la demanda en los diferentes horarios del sistema. Las muestras serán medidas con equipos analizadores de energía de acuerdo al método propuesto por la ARCONEL, siendo colocados durante siete días en periodos de diez minutos.

2.1.2. Nivel o tipo de investigación

Para realizar la investigación se ha seleccionado el tipo de investigación tecnológica que se define de la siguiente manera:

Para Sánchez Carlessi H. y Reyes Meza C. (2 006) la investigación tecnológica.- Responde a problemas técnicos, está orientada a demostrar la validez de ciertas técnicas bajo las cuales se aplican principios científicos que demuestren su eficacia en la modificación o transformación de un hecho o fenómeno. Este tipo de investigación permitirá comprobar el uso de técnicas de diseño en las redes eléctricas de distribución, y de la instalación óptima de equipos de transformación en las mismas, que garanticen la disminución de las pérdidas energéticas.

2.1.3. Método de Investigación

Como métodos de investigación dentro del trabajo, se emplearan métodos que por su pertinencia dentro del objeto de estudio, son los adecuados para la obtención de información veraz que garantice la confiabilidad de los resultados. A continuación se describe los métodos y su empleo dentro de la investigación.

2.1.3.1. El método inductivo

Para la Revista Ejemplode.com, (2 008), es el que mediante el cual tomamos dos o más premisas particulares, para obtener como conclusión una premisa general. Es el tipo de razonamiento que utilizamos cuando se hacen pruebas científicas o demostraciones matemáticas. Por tal razón será el método que permita analizar los eventos con respecto a las pérdidas energéticas que estarán involucrados dentro del estudio, para de esta manera determinar el modelo adecuado de aplicación en la selección de transformadores.

2.1.3.2. El método deductivo

Para la Revista Ejemplode.com, (2 008), es el que compara premisas universales entre sí, o dos premisas universales para sacar una conclusión particular. Este método permitirá estudiar investigaciones similares al estudio propuesto, para así tener los lineamientos con el cual se llegara al objetivo planificado, validando los criterios de otros autores con respecto a las pérdidas de energía en los transformadores de distribución en lo relacionado a la operación de los mismos como al servicio que prestan.

2.1.4. Técnicas e Instrumentos de la Investigación

Las técnicas que se han determinado como las más adecuadas dentro de la investigación se detallan las siguientes:

2.1.4.1. Medición de la demanda de energía eléctrica

Empleada para determinar las magnitudes y cada una de sus unidades dentro del estudio, nos permitirá obtener valores con los cuales se levantara la información de campo, las mediciones se realizan con equipos analizadores de energía en medio y bajo voltaje, como es el ENGRO RM PQ, que permite obtener mediciones en medio voltaje en determinadas secciones de la red de distribución objeto de estudio. Véase figura 1



Figura 1. Equipo analizador de energía de medio voltaje, ENGRO RM 960PQ, permite tomar registros en medio voltaje de la red de distribución parte del estudio. Fuente: Desarrollado por el autor.

Adicional al equipo mencionado, se empleara el analizador PQ – BOX - 100, que permite obtener mediciones en bajo voltaje de cada uno de los transformadores seleccionados como muestra la figura 2.



Figura 2. Equipo analizador de energía de bajo voltaje, PQ-BOX-100, permite tomar registros en bajo voltaje de los transformadores de distribución objeto de estudio. Fuente: Desarrollado por el autor.

Los analizadores de energía son aporte de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., que a través del departamento de estudios técnicos, colaboraron para la recopilación de la información. Estas mediciones nos permiten obtener el comportamiento de la demanda de energía en los diferentes horarios del día.

2.1.4.2. Fichas de datos de los registros del comportamiento de la demanda de energía

Empleadas como tablas que nos permiten realizar registros de los eventos durante la investigación, se realizan bases de información que permiten manejar el gran volumen de informaciones obtenidas en las mediciones.

2.1.4.3. Cálculo de las curvas de eficiencia energética en los transformadores de distribución

El presente trabajo emplea ecuaciones y algoritmos que permiten obtener valores lógicos y graficas con los resultados evaluados, procurando demostrar la hipótesis propuesta en la investigación.

2.1.4.4. Software de modelamiento y procesamiento de información

Para manejo y procesamiento de la información el presente trabajo emplea varios software en función de los requerimientos, se describe cada uno de ellos y su modo de empleo:

CYME, el mismo está diseñado para simular ciertas condiciones del comportamiento de la red eléctrica de distribución, ajustándose a las configuraciones reales del circuito a modelar, como también a casos particulares en los cuales el investigador pretende demostrar la confiabilidad del sistema de distribución.

Como parte del software, CYME ha diseñado varios módulos para las diferentes aplicaciones necesarias durante una modelación, como es el módulo CYMDIST, este módulo en lo particular se emplea para realizar cálculos de flujos de energía, los mismos que permitirán determinar las pérdidas reales de los equipos que forman parte de la infraestructura eléctrica de los sistemas de distribución. Adicional a las simulaciones que permite realizar el software, el mismo genera informes que se pueden visualizar de modo sencillo a través de ventanas gráficas, y con base de datos numéricas que pueden ser exportadas a programas de procesamiento de información conocidos y de fácil manejo, la sencilla arquitectura del software permite ingresar la información de manera dinámica a través de cuadros de dialogo que interactúan con el operador del software, además la información ingresada puede ser validada antes de la

generación de resultados , garantizando de esta manera errores al finalizar los flujos, como se observa en la figura 3.

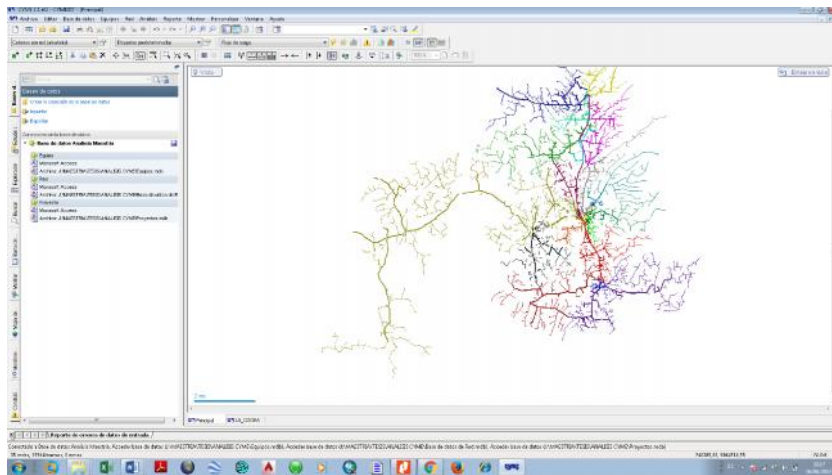


Figura 3. Software CYME, se puede observar la modelación de los circuitos de medio voltaje que dotan de servicio eléctrico al cantón Latacunga. Fuente: Desarrollado por el autor

El software COMMUNICATOR EXT, permite una interface entre el equipo ENGRO RM 960PQ y el computador, para obtener los registros medidos en campo y migrarlos a software de procesamiento de base de datos conocidos, en la figura 4, se puede observar la ventana inicial del software.



Figura 4. Software COMMUNICATOR EXT, permite el manejo de información del analizador de medio voltaje ENGRO RM960PQ. Fuente: Desarrollado por el autor

El software WINPQ MOBIL, es empleado para el procesamiento de la información recopilada en campo por los equipos analizadores de energía como el PQ – BOX – 100, en el software se puede visualizar eventos particulares ocurridos en los transformadores evaluados, durante el periodo de medición, esto se realiza de forma gráfica como numérica, el software permite además exportar la base de datos a los paquetes de procesamientos de información comúnmente usados, en la figura 5, se muestra la ventana gráfica de demanda del software.

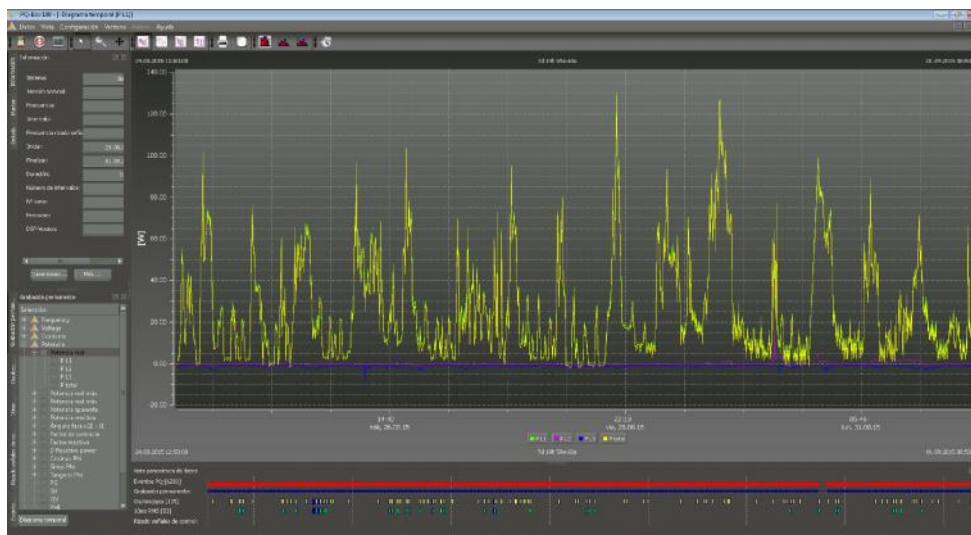


Figura 5. Software WINPQ MOVIL, permite el manejo de información del analizador de bajo voltaje PQ-BOX-100. Fuente: Desarrollado por el autor.

2.1.5. Determinación de las variables

Las variables se han determinado en función del análisis para la selección de transformadores de distribución en el cantón Latacunga y su incidencia en las pérdidas energéticas por servicio y operación, en la ciudad de Latacunga, propuesta de aplicación de un método de selección basado en curvas de eficiencia energética, siendo estas las siguientes:

- La elección óptima de transformadores
- Pérdidas energéticas por servicio y operación

2.1.5.1. Operacionalización de las Variables

Para operacionalizar las variables que componen esta investigación, se analiza las variables independiente y dependiente de la siguiente manera.

2.1.5.1.1. Variable independiente

Como variable independiente dentro del presente trabajo, se determina la elección óptima de transformadores, debido que para seleccionar de forma óptima del transformador que será instalado en las redes de distribución de distribución no depende de ninguna otra variable, la la operacionalización de esta variable se indicada en la tabla 1.

Tabla 1.
Variable independiente.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Son demostraciones graficas de la relación entre los costos de instalación, operación y servicio de los transformadores de distribución para cada una de sus potencias nominales	Consumos fijos	Energía por operación.	kW.h	Cálculos	Ecuaciones
	Consumos variables	Energía por servicio.			
	Selección óptimo y eficiente en transformadores de distribución	Demanda unitaria	V.A	Medición	Analizadores de energía
		Protocolo de laboratorio de transformadores	U	Bibliográfica	Archivos de registro de la empresa eléctrica
Energía requerida	Carga instalada	kV.A	Cálculos	Ecuaciones	

Nota. La tabla 1 muestra de manera clara la variable, y todas categorías a investigar, donde se evaluarán y obtendrán indicadores determinados a través de las técnicas e instrumentos planificados. Fuente: Desarrollado por el autor

2.1.5.1.2. Variable dependiente

Como variable dependiente dentro del trabajo, se determina que son las pérdidas energéticas por servicio y operación, ya que las mismas se encuentran en dependencia de una selección óptima del equipo de transformación a ser instalado, la operacionalización de esta variable se indicada en la tabla 2.

Tabla 2.
Variable dependiente.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es la determinación del valor obtenido entre la colocación óptima de transformadores de distribución, considerando las variables económicas y la colocación técnica de los mismos.	Pérdidas energéticas	Pérdidas elevadas por servicio y operación	W.h	Cálculos	Ecuaciones
	Eficiencia energética	Reducción de pérdidas por servicio			

Nota. La tabla muestra de manera clara la variable, y todas categorías a investigar, donde se evaluarán y obtendrán indicadores determinados a través de las técnicas e instrumentos planificados. Fuente: Desarrollado por el autor

2.1.6. Método de selección de transformadores

En la actualidad la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., cuenta con un total de 8.091 transformadores distribuidos en toda la Provincia de Cotopaxi, 3 607 corresponden de modo particular al cantón Latacunga y de los cuales 3 596 transformadores son de uso residencial, siendo estos la población incidente en el estudio, reflejados con sus características y disposición en la tabla 3.

Tabla 3.
Cantidad de transformadores instalados en la red de distribución del cantón Latacunga.

Potencia kVA	Tipo								Total general
	Monofásico				Trifásico				
	1A	1C	1O	1P	3C	3N	3O	3P	
3	2								2
5	148	273	1						422
10	470	575							1 045
15	272	406	6		5		1		690
25	158	289	7						454
30					171		11		182

Potencia kVA	Tipo								Total general
	Monofásico				Trifásico				
	1A	1C	1O	1P	3C	3N	3O	3P	
37,5	69	146	4	2					221
45					77		1		78
50	16	53	1	1	132		10		213
60					26				26
75		3			115	1	14		133
100	1				61		7	1	70
112,5					14		3		17
120							6		6
125					25		1	2	28
160							6		6
200							1		1
250							1		1
450							1		1
Total general	1 136	1 745	19	3	625	1	63	3	3 596

Nota. La tabla muestra la cantidad de los transformadores de distribución de acuerdo al tipo y característica particular de los mismos. Fuente: Base de datos de la Dirección de Planificación.

No obstante y debido a la cantidad de transformadores instalados se consideró realizar un número de transformadores determinado por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N}{E^2 \cdot N - 1 + 1} \quad (1)$$

Dónde:

n = Número de transformadores; (u)

N = Población o universo; (u)

E = Error admisible (0,052); (adimensional)

2.1.7. Indicadores

Como principales indicadores se muestran los resultados obtenidos a través del software de modelación CYME, el mismo que determinara las pérdidas de energía en cada uno de los centros de transformación modelados, tanto como en las modelaciones del sistema actual como las del sistema propuesto.

2.2. Metodología de la investigación

La investigación se ha realizado de forma metodológica con la recolección de muestras que permitieron modelar la situación actual del sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., usando la siguiente estructura:

1. Recopilación de Información.
2. Modelamiento del sistema.
3. Aplicación de ecuaciones y algoritmos.

2.2.1. Recopilación de información

La recopilación de información se la desarrollo con el apoyo de la Dirección de Planificación perteneciente a la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., debido a que poseen la base de datos que se requieren para el estudio, así también la unidad de Estudios Técnicos fue la encargada de facilitar e instalar los analizadores de energía en los diferentes puntos de recopilación de muestras, obteniendo así la siguiente información:

1. Demanda máxima de energía registrada en el año 2 016 por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en el cantón Latacunga.
2. Demandas coincidentes registradas por los medidores en las cabeceras de las subestaciones, esto es de cada uno de los alimentadores a las salida del transformador de potencia en cada una de las subestaciones que dotan de servicio eléctrico al cantón Latacunga, del día de mayor demanda registrada por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.
3. Consumos mensuales del año 2 016 de todos los usuarios pertenecientes al cantón Latacunga.

4. Registros de los perfiles de demanda de energía en varios tramos de los alimentadores en medio voltaje, medidos con el ENGRO RM960PQ,
5. Registros de los perfiles de demanda de energía en varios tramos de transformadores de distribución en bajo voltaje, medidos con el PQ-BOX-100Q,

La demanda máxima registrada en el año 2016 se obtuvo a partir de las mediciones realizadas por cada uno de los medidores instalados en la cabecera de cada una de las subestaciones del cantón Latacunga, para el estudio se analiza el mes de octubre debido a que en este mes se ha registrado la máxima demanda durante todo el año, como se observa en la figura 6.

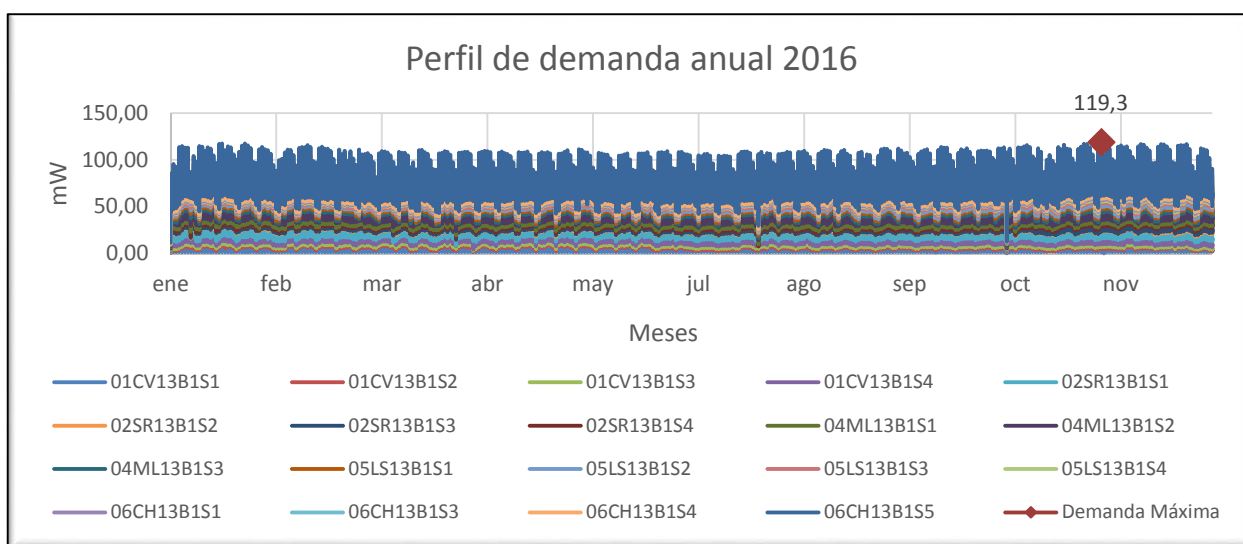


Figura 6. Perfil de demanda anual de energía de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A., en el cantón Latacunga: Fuente: Dirección de Planificación.

De los datos obtenidos se determinó que la demanda máxima registrada en el año 2016, corresponde al registro del mes de octubre a las 19:20 del día veinte y siete, siendo la mayor potencia registrada de 119,30 MW, como se observa en la figura 7, que muestra la demanda

registrada de manera más detallada durante el mes de octubre, y se ha señalado el punto de demanda máxima para su mejor comprensión.

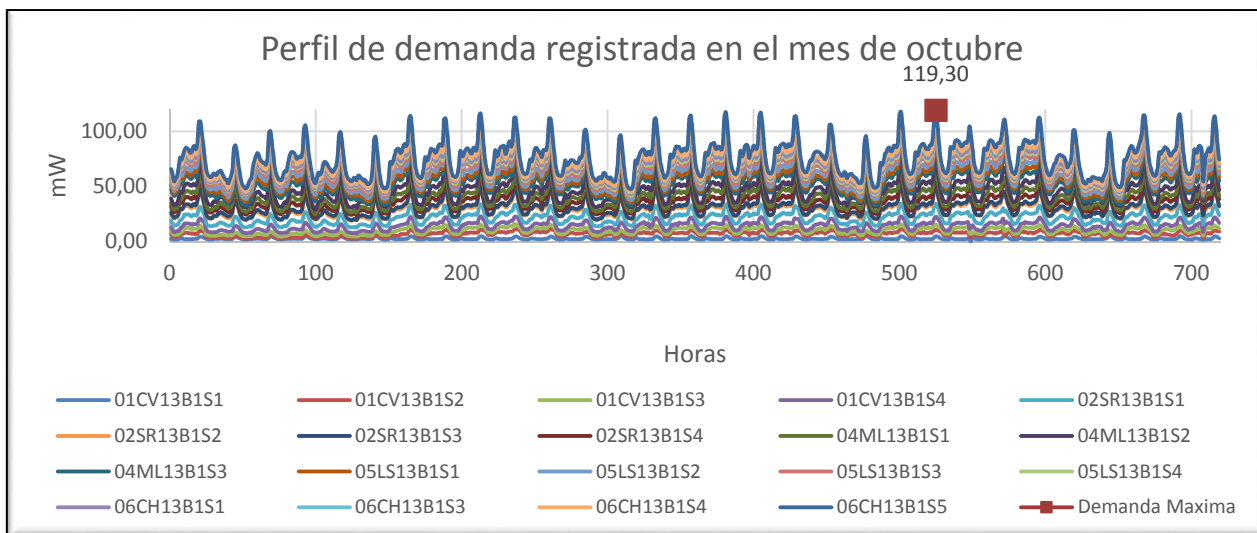


Figura 7. Curva de demanda de energía del mes de octubre, de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A., en el cantón Latacunga: Fuente: Dirección de Planificación.

A partir de este día se consideran para el análisis los valores de corriente y factor de potencia por fase en este intervalo como se indica en la tabla 4, estos datos se ingresan como información en el CYMDIST, ya que para la distribución de carga por consumos se usaran estos valores para que el software los prorratee para cada transformador y, de esta manera obtener las pérdidas de energía por cada uno de los transformadores instalados en el sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. en el cantón Latacunga.

Tabla 4.
 Información de cabecera de cada uno de los alimentadores a simular

Alimentadores	Corrientes en amperios			Factor de potencia en %		
	A	B	C	A	B	C
01CV13B1S1	82,92	65,16	81,20	98	97	97
01CV13B1S2	117,07	113,30	105,36	96	94	96
01CV13B1S3	71,13	69,31	70,81	98	99	99
01CV13B1S4	102,98	98,23	124,16	97	97	97
02SR13B1S1	150,44	196,66	164,17	98	98	98
02SR13B1S2	221,36	233,46	218,00	97	98	98
02SR13B1S3	30,63	31,33	29,25	99	98	98

Alimentadores	Corrientes en amperios			Factor de potencia en %		
	A	B	C	A	B	C
02SR13B1S4	77,26	57,95	85,28	98	97	97
04ML13B1S1	70,12	88,64	72,69	71	99	98
04ML13B1S2	164,38	161,26	143,58	69	99	95
04ML13B1S3	128,19	133,05	138,03	71	99	97
05LS13B1S1	97,31	109,81	102,55	97	96	97
05LS13B1S2	73,87	60,89	108,43	99	97	98
05LS13B1S3	78,71	78,62	71,11	94	89	93
05LS13B1S4	58,11	46,69	47,43	95	94	94
06CH13B1S1	26,36	37,05	47,16	97	97	97
06CH13B1S3	57,16	47,88	63,76	97	97	96
06CH13B1S4	14,89	11,89	11,21	96	92	95
06CH13B1S5	107,12	109,03	158,95	98	97	97

Nota. La información de la tabla fueron tomados de las bases históricas de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. Fuente: Dirección de Planificación.

Además para poder simular y utilizar el software de modelamiento, se recopiló la información de los consumos de cada uno de los usuarios asociados a los transformadores de distribución del cantón Latacunga durante todo el año 2016, se realizó el promedio de consumo de acuerdo a la metodología implantada por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

Se levantaron muestras en medio voltaje, donde se obtuvo el perfil de demanda de cada uno de los alimentadores en medio voltaje, esto se realizó debido a que el CYMDIST permite el ingreso del perfil de demanda en varios puntos del circuito para corregir la distribución de carga en la modelación.

Para las mediciones de medio y bajo voltaje, se instalaron los equipos de acuerdo al criterio de la ARCONEL, la misma que en su regulación de calidad del servicio eléctrico 004/01, determina que las mediciones se las realizara con una muestra de siete días en periodos de diez minutos, siendo de este el criterio de configuración de los analizadores, para la recolección del número de transformadores.

2.2.2. Modelamiento del sistema

Se empleó el software CYME con su módulo CYMDIST, se modeló la red de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., con el método de distribución de carga por consumos, para esto se ingresó los valores de cabecera por cada alimentador como se muestra en la figura 8.

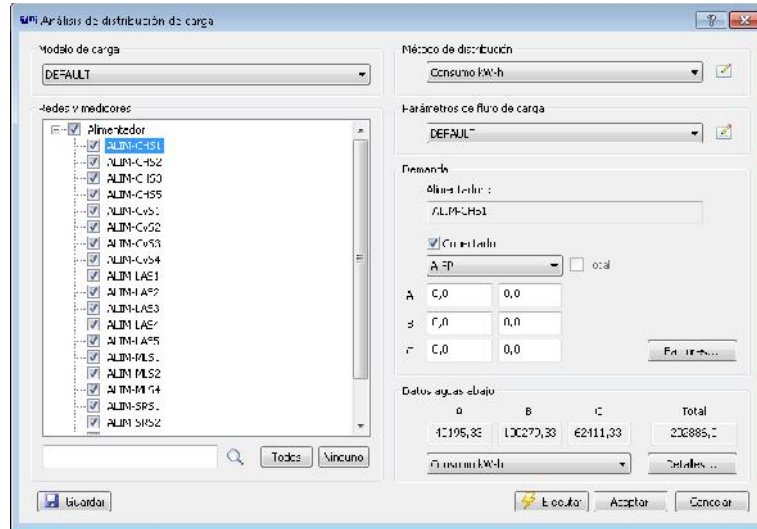


Figura 8. Cuadro de diálogo correspondiente a la distribución de carga en CYMDIST. Fuente: Desarrollado por el autor

Como se puede observar en la figura 8, se muestra la ventana del módulo CYMDIST, donde podemos analizar cada uno de los alimentadores y obtener el consumo de los usuarios que se encuentran asociados a cada uno de los alimentadores de la red.

Otro dato importante para poder modelar el circuito, es el consumo de los usuarios en cada transformador, para poder obtener este dato se tomaron los registros de las bases de datos de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. y se sacó el promedio mensual, para ingresar esta información se sumó el consumo de los usuarios asociados a cada transformador y el resultado fue ingresado.

En la figura 9, se indica el cuadro de dialogo por donde se ingresan los valores correspondientes a las características de la carga como; el consumo que ya se indicó el método de obtención, la capacidad nominal del transformador y el número de usuarios asociados al transformador.

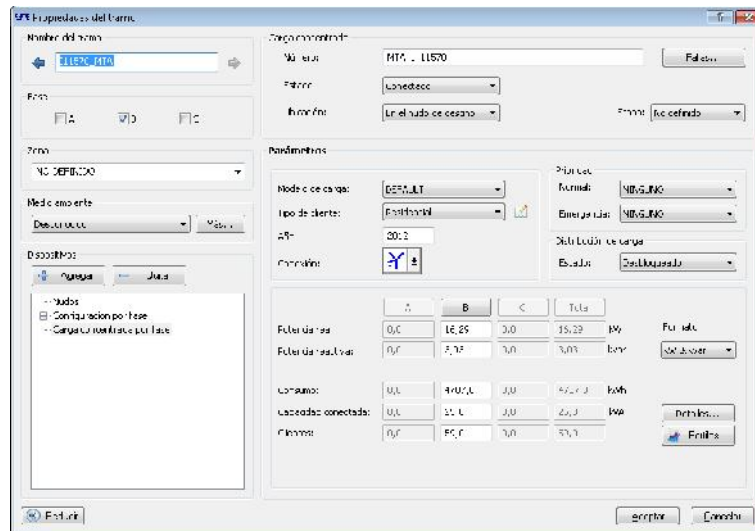


Figura 9. Cuadro de dialogo correspondiente a la propiedades de la carga en CYMDIST. Fuente: Desarrollado por el autor

Se seleccionó el método de carga por consumo debido a la disponibilidad de la información y a la exactitud del mismo, al ejecutar el análisis de flujos de energía en el software, permite el cálculo de las pérdidas de energía en cada etapa de la distribución y por ende las pérdidas de energía en los centros de transformación.

2.2.3. Metodología de cálculo para la selección óptima de transformadores

Según Oscullo Marcillo, 2 001, p. 18 manifiesta que para encontrar el transformador óptimo que se empleara en las redes de distribución, se determinaran los valores de energía en los cuales opera el transformador antiguo y se los compara con otros de

diferente potencia, encontrando así el que menor costo representa en su servicio y operación.

Se basa en encontrar los puntos de intersección de los costos operativos anuales entre dos capacidades adyacentes, estos puntos indican el nivel de carga para el cual el costo operativo anual de la alternativa de mayor capacidad nominal empieza a ser menor que el costo correspondiente al transformador de menor capacidad.

Analizado de esta manera se calcula las curvas de eficiencia energética para optimizar el uso de transformadores a partir de la siguiente ecuación 2.

$$CA = CpP + CpE + AI + COM \quad (2)$$

Dónde:

CA = Costo anual del transformador; (USD)

CpP = Costo de pérdidas de potencia; (USD)

CpE = Costo de pérdidas de energía; (USD)

AI = Amortización de la inversión; (USD)

COM = Costos de operación y mantenimiento; (USD)

A partir de los resultados de cada una de las curvas de eficiencia energética, se puede determinar el intervalo de eficiencia energética, al igualar el costo anual de los dos transformadores de capacidades adyacentes, determinando los kVAs donde el transformador de mayor capacidad empieza a ser más eficiente que el de menor capacidad.

$$kVAs = 31\,623 \cdot \frac{A \cdot B + C}{D \cdot E - F}^{0,5} \quad (3)$$

Donde:

$kVAs = kVAs$ donde el transformador de mayor capacidad es más eficiente que el de menor capacidad.

$A = \text{Costo de demanda} + 8760 \cdot \text{Costo de energía}; (\text{USD})$

$$B = \frac{\frac{Pfe_m}{Pfe_n}}{1000}; (\text{W})$$

$C = \text{Amortización de la inversión} + \text{costos de operación y mantenimiento}_m - \text{Amortización de la inversión} + \text{costos de operación y mantenimiento}_n; (\text{USD})$

$D = \text{Costo de demanda} + 8760 \cdot \text{Costo de energía} \times \text{factor de pérdidas}; (\text{USD})$

$$E = \frac{Pcu_n}{kVA_{nominal_n}^2}; (\text{W})$$

$$F = \frac{Pcu_m}{kVA_{nominal_m}^2}; (\text{W})$$

$m = \text{Datos del transformador de mayor capacidad}$

$n = \text{Datos del transformador de menor capacidad}$

$Pfe = \text{Pérdidas en el núcleo o hierro}; (\text{W})$

$Pcu = \text{Pérdidas en las bobinas}; (\text{W})$

2.2.3.1. Cálculo de las pérdidas de energía y potencia en transformadores

El cálculo de las pérdidas de cada uno de los transformadores por sus capacidades nominales, se realiza considerando el comportamiento de la carga y las pérdidas que las mismas producen en cada uno de los periodos de la curva de la demanda.

Con los datos obtenidos y registrados por los analizadores de energía se consideró una curva de demanda tipo en los transformadores residenciales, obteniendo un modelo base que nos permitirá realizar la modelación de los transformadores de manera similar en el resto de transformadores instalados en el sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial

Cotopaxi S.A., Para determinar las pérdidas en cada uno de los transformadores, se calculan las pérdidas en el cobre y las pérdidas en el hierro, de acuerdo a la ecuación 4:

$$P_{tran} = P_{cu} + P_{fe} \quad (4)$$

Dónde:

P_{tran} = Pérdidas en el transformador; (W)

P_{cu} = Pérdidas en el cobre; (W)

P_{fe} = Pérdidas en el hierro; (W)

El ingeniero (Poveda, 1999) menciona que, para determinar las pérdidas en el cobre, se calcula a través de la ecuación propuesta y esta dependen de la variación de la demanda.

$$D_{RL-i} = \frac{D_{Pi} \cdot \cos\theta_{max}}{D_{Pmax} \cdot \cos\theta_i}^2 \cdot D_{RL-max} \quad (5)$$

Dónde:

D_{RL-i} = Pérdidas en el cobre en el intervalo; (W.h)

D_{Pi} = Demanda de energía en el intervalo; (W.h)

$\cos\theta_{max}$ = Factor de potencia máximo registrado; (adimensional)

D_{Pmax} = Demanda máxima registrada; (W.h)

$\cos\theta_i$ = Factor de potencia en el intervalo; (adimensional)

D_{RL-max} = Pérdidas a demanda máxima; (W)

Una vez obtenidas las pérdidas en cada intervalo, se suman las mismas para obtener las pérdidas totales.

Para la determinación de las pérdidas a demanda máxima, se aplicó el siguiente criterio.

Las pérdidas totales para cualquier porcentaje de carga de un transformador es la suma de sus componentes en vacío y con carga ($P_o + P_{cu}$), las pérdidas en vacío son

prácticamente constantes y las pérdidas con cargas diferentes a la nominal se pueden calcular así según nos muestra en el catalogo de (ECUATRAN S.A., p. 5):

$$P_{Cu} = \frac{I_c}{I_n}^2 \quad (6)$$

Donde:

P_{Cu} = Pérdidas con cargas nominales; (W)

I_c = Corriente de carga; (A)

I_n = Corriente nominal; (A)

La corriente de carga es la registrada por los analizadores de energía en el muestreo, esto en el caso de los transformadores que están instalados en el sistema eléctrico de distribución y está tomada de la coincidente de la demanda máxima, para el caso de estudio se tomó la información de los datos de placa de cada transformador, así como también los datos de la corriente nominal, y la información se indica en el resumen de la tabla 5.

Tabla 5.
Datos de placa de los transformadores.

Transformador	Potencia	I nominal	Pérdidas	
			Vacío	Carga
Monofásico	5	20,8	27	163
	10	41,7	38	258
	15	62,5	51	365
	25	104,2	72	540
	37,5	156	107	685
	50	208	166	668
Trifásico	30	39,36	199	698
	50	65,6	216	1158
	75	98,41	255	1558
	100	274,92	291	1778
	112,5	309,29	360	1500
	125	343,66	369	2650

Nota. Datos de placa de los transformadores de distribución instalados en el sistema de distribución.

Fuente: Ecuatran S.A.

Para las pérdidas en el núcleo, que no dependen de la variación de la demanda se tomara de los datos de placa tanto en los transformadores que se encuentran en servicio como para los proyectados en los nuevos diseños, para ello se empleara la ecuación.

$$D_{CL} = N \cdot f \cdot D \quad (7)$$

Donde:

D_{CL} = Pérdidas de potencia en el núcleo; (W.h)

N = Número de transformadores; (u)

f = Periodo de evaluación; (h)

D = Pérdidas por magnetización; (W.h)

Una vez hallados los valores de las pérdidas se puede determinar el factor de pérdidas a partir de la relación de la pérdida de potencia promedio a la pérdida de potencia a demanda máxima, durante un período específico de tiempo, como se observa en la ecuación:

$$f_{per} = \frac{ep}{D_{RL-max} \cdot t_{periodo}} \quad (8)$$

Donde:

f_{per} = factor de pérdidas; (adimensional)

ep = energía de pérdidas; (W.h)

D_{RL-max} = Pérdidas a demanda máxima; (W)

$t_{periodo}$ = periodo de la muestra; (h)

2.2.3.2. Amortización de la inversión

Debido a que los transformadores representan una inversión de las empresas eléctricas de distribución, es importante calcular el factor de amortización de los mismos, para lo cual emplearemos la ecuación.

$$\text{Factor de Amortización} = \frac{Td}{1 - 1 + Td^{-n}} \quad (9)$$

Dónde:

Td = Tasa de descuento, se tomara como dato el 12%.

n = Vida útil del equipo en años, se considerara para 30 años.

2.2.3.3. Costo de operación y mantenimiento

De acuerdo al análisis realizado por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., se asume un costo por operación y mantenimiento anual, igual al 2% del costo del equipo incluido los gastos de transporte, mano de obra y accesorios.

2.3. Conclusiones del capítulo 2

- Las empresas eléctricas de distribución cuentan con la información necesaria para realizar estudios, sin embargo no se ha encontrado información particular que se refiera al uso eficiente de la energética en todas las etapas de distribución de la misma.
- A pesar que las empresas eléctricas de distribución cuentan con las herramientas, equipos y software como el CYME con su módulo CYMDIST, necesarios para elaborar estudios con respecto a la gestión energética, en la actualidad son empleados directamente para mejorar la calidad del servicio eléctrico al usuario final, sin embargo se podrían realizar simulación que garanticen el uso eficiente de la energía eléctrica.
- Las pérdidas de energía de acuerdo a los datos obtenidos en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., son debido al deterioro de la infraestructura eléctrica o al incremento descontrolado de la demanda de energía, sin embargo se podrían modificar varios procesos que se encuentran vinculadas a una mala gestión del uso de la energía para minimizar las pérdidas.

CAPITULO 3

3. Resultado de la Investigación

3.1. Resultados del modelamiento en el CYMDIST del sistema actual

La modelación muestra varios resultados entre ellos:

- Las condiciones de los transformadores.
- Pérdidas de energía.

En la figura 10, se muestra el diagrama unifilar modelado en el software CYME en su módulo CYMDIST, el cual refleja todos los circuitos primarios que dotan de servicio eléctrico al cantón Latacunga, cabe recalcar que existen tres circuitos que por la disposición geográfica de los mismos, dotan de servicio eléctrico a zonas del cantón Saquisilí, este es el caso del circuito 05LS13B1S1 que cubre zonas del lado norte del cantón, y el circuito 04ML13B1S2 Mulaló que prácticamente está energizando todo el cantón. También se observa que el circuito 02SR13B1S2 de la subestación San Rafael a traviesa el cantón Pujilí.

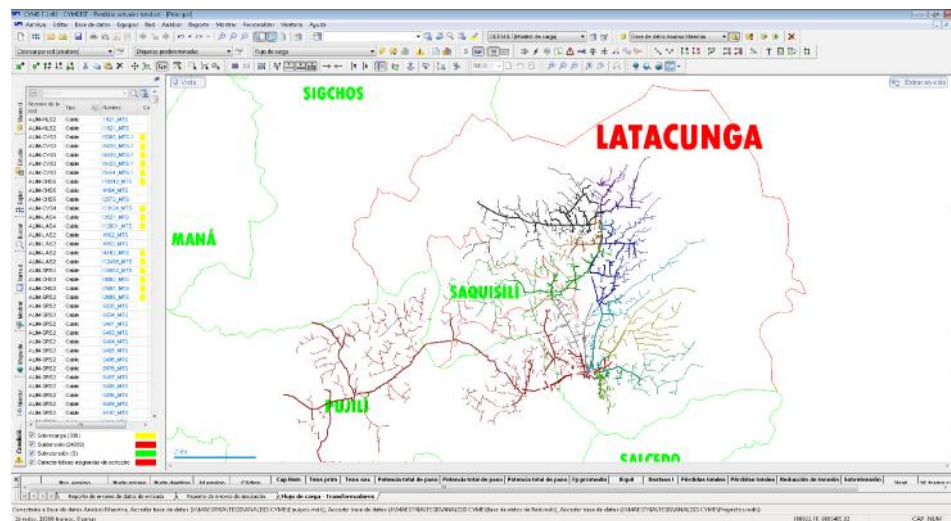


Figura 10. Diagrama unifilar de los circuitos primarios del cantón Latacunga modelados en CYMDIST.

Fuente: Desarrollado por el autor.

3.1.1. Cálculo de pérdidas de energía en la Empresa eléctrica provincial Cotopaxi

S.A.

En el día 27 de octubre del 2016, se registró la mayor demanda a las 20:00, tomando estos registros como base para los resultados obtenidos, la tabla 6 muestra los datos coincidentes obtenidos en los registros de cabecera.

Tabla 6 .

Registros coincidentes a la demanda máxima registrada en el año 2016

<u>Circuitos primarios</u>	<u>M W</u>	<u>fp %</u>
01CV13B1S1	3,16	98
01CV13B1S2	4,35	94
01CV13B1S3	2,55	98
01CV13B1S4	4,62	98
02SR13B1S1	6,67	98
02SR13B1S2	8,49	98
02SR13B1S3	1,11	98
02SR13B1S4	3,05	97
03SA13B1S1	6,02	95
03SA13B1S2	3,80	99
03SA13B1S3	6,34	96
03SA13B1S4	2,27	100
04ML13B1S1	2,88	97
04ML13B1S2	6,25	95
04ML13B1S3	5,41	97
05LA13B1S1	4,18	96
05LA13B1S2	3,38	98
05LA13B1S3	3,05	91
05LA13B1S4	1,65	94
06CH13B1S1	1,59	98
06CH13B1S2	6,32	85
06CH13B1S3	2,29	97
06CH13B1S4	0,42	96
06CH13B1S5	5,44	97
08SG13B1S1	1,41	99
08SG13B1S2	0,24	100
09MA13B1S1	3,48	96
09MA13B1S2	6,43	91
09MA13B1S3	5,30	98
09MA13B1S4	2,32	94
10PJ13B1S2	4,83	97
<u>Total</u>	<u>119,30</u>	<u>96</u>

Nota. En la tabla se observa las demandas coincidentes. Fuente: Dirección de Planificación.

A partir de la tabla 6 se puede graficar la información para una mejor comprensión de las potencias coincidentes de los circuitos primarios, en la figura 11 se muestra la potencia coincidente de cada uno de los circuitos primarios respecto a la máxima registrada en el sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

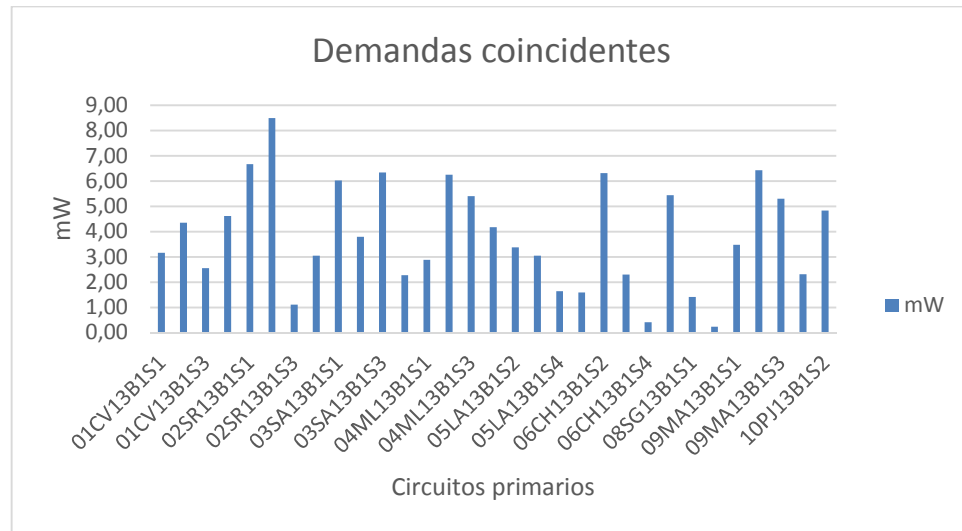


Figura 11. Potencias coincidentes a la potencia máxima registrada por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. Fuente: Desarrollado por el autor.

A partir de la ecuación 3, en la figura 13 se muestra los perfiles de la energía pérdida en relación a la energía suministrada por el sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., además la tabla 7 se detalla las pérdidas acumuladas en cada circuito, indicadas en forma de energía y porcentualmente en función de la energía suministrada.

Tabla 7.
Pérdidas de energía en el sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

Circuitos primarios	Energía MW . h		%
	Suministrada	Pérdida	
01CV13B1S1	8 663,38	54,15	0,62
01CV13B1S2	13 650,522	487,56	3,57
01CV13B1S3	9 688,89	96,16	0,99
01CV13B1S4	13 739,21	101,65	0,74
02SR13B1S1	23 252,82	204,88	0,88
02SR13B1S2	26 985,01	37,29	0,14

Circuitos primarios	Energía MW . h		%
	Suministrada	Pérdida	
02SR13B1S3	3 960,12	17,23	0,44
02SR13B1S4	12 156,58	100,74	0,83
03SA13B1S1	17 845,69	151,18	0,85
03SA13B1S2	13 620,39	243,84	1,79
03SA13B1S3	20 087,73	167,14	0,83
03SA13B1S4	7 197,50	35,01	0,49
04ML13B1S1	11 538,82	55,85	0,48
04ML13B1S2	19 291,00	165,72	0,86
04ML13B1S4	20 935,72	148,8	0,71
05LA13B1S1	12 786,25	62,43	0,49
05LA13B1S2	10 823,98	70,55	0,65
05LA13B1S3	10 090,07	93,99	0,93
05LA13B1S4	7 161,43	85,41	1,19
06CH13B1S1	4 390,74	35,32	0,80
06CH13B1S2	21 872,29	0,02	0,00
06CH13B1S3	7 585,06	48,69	0,64
06CH13B1S4	1 987,85	0,09	0,00
06CH13B1S5	16 324,02	88,98	0,55
08SG13B1S1	3 963,12	16,2	0,41
08SG13B1S2	824,55	1,23	0,15
09MA13B1S1	9 260,29	48,45	0,52
09MA13B1S2	11 472,39	129,52	1,13
09MA13B1S3	18 601,44	7,79	0,04
09MA13B1S4	7 824,24	2,67	0,03
10PJ13B1S2	12 560,24	66,51	0,53
Total	380 141,37	2 825,1	0,74

Nota. En la tabla se puede observar que las pérdidas. Fuente: Desarrollo Propio.

Los datos de la tabla se representan de manera gráfica en la figura 12.

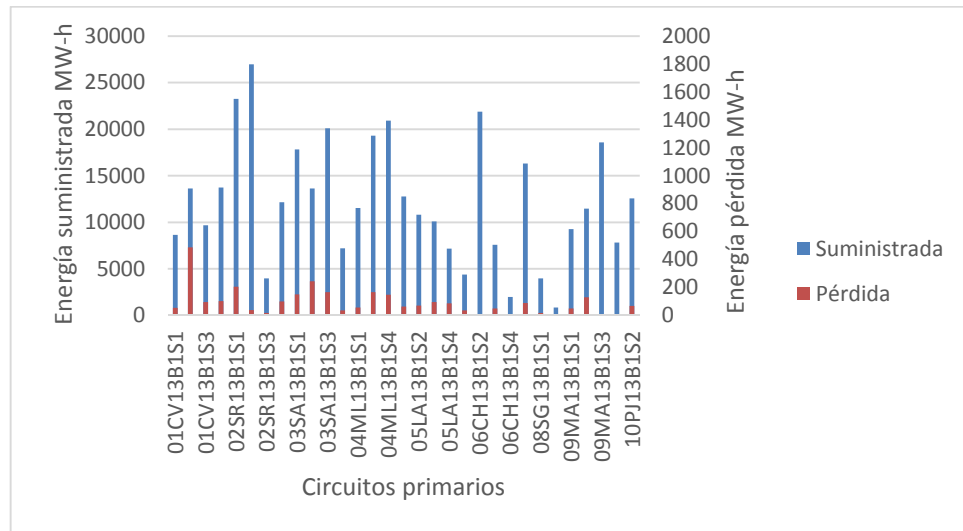


Figura 12. Relación de energía suministrada y energía pérdida en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. en el año 2 016. Fuente: Desarrollado por el autor.

Se puede observar en la tabla 7 las pérdidas de energía en el sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., teniendo un total de energía suministrada de 380 141,37 MWH las pérdidas son de 2 825,1 MWh que representa un porcentaje total del 0,74%. Además se puede observar que la mayor cantidad de pérdidas se presentan en los siguientes cuatro circuitos: en el circuito 01CV13B1S2 sus pérdidas representan un porcentaje de 3,57%, el segundo valor mayor registrado es del circuito 03SA13B1S2 con un porcentaje de 1,79%, el tercer valor elevado es del circuito 05LA13B1S4 con un porcentaje de 1,19% y finalmente el circuito 09MA13B1S2 con un porcentaje de 1,13%.

3.1.1.1. Factor de pérdidas de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

De acuerdo a la ecuación 8, el factor de pérdidas es:

$$f_{per} = 0,01$$

3.1.1.2. Resultado de pérdidas de energía en transformadores de distribución

La modelación en el software CYME en su módulo CYMDIST nos permitió mostrar tres condiciones en la que se encontraban los transformadores del cantón Latacunga, entre ellas:

- Transformadores sobrecargados.
- Transformadores subcargados.
- Transformadores en operación normal.

Estas condiciones y su influencia en el grupo de transformadores de distribución que dotan de servicio eléctrico en el cantón Latacunga, sugieren que los transformadores subcargados como los sobrecargados están operando fuera del intervalo de eficiencia energética, y la cantidad de los mismos se aprecian de mejor manera en la tabla 8.

Tabla 8.
Estado de cargabilidad de los transformadores a demanda máxima.

Estado	Transformadores después del flujo.	
	Cantidad	%
Normal	403	15
Sobrecargado	114	4
Subcargado	2241	81

Nota. La mayor capacidad de transformadores está en estado de subcarga, lo que sugiere mayor pérdidas en el núcleo. Fuente: Desarrollado por el autor

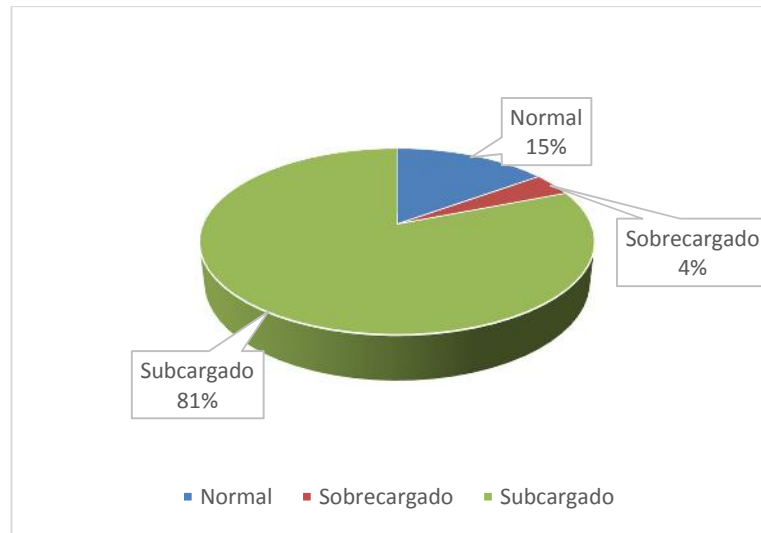


Figura 13. Resultado del flujo de carga. Fuente: Desarrollado por el autor.

La figura 13, representa claramente el estado de cargabilidad de los transformadores de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., es importante destacar que la modelación se la realizó a demanda máxima del sistema general, sin embargo existe un grupo del 81% de transformadores subcargados, es decir que se encuentran por debajo del 50% de su límite nominal, el 15% de transformadores se encuentren operando en condiciones normales y un escaso 4% reflejan sobrecarga, es decir que la cargabilidad de los mismos esta sobre el 100% de su capacidad nominal. La tabla 9, muestra el estado de los transformadores de forma detallada en función de la capacidad nominal de los transformadores.

Tabla 9.
Detalle del estado de los transformadores.

kVA	Normal	%	Sobrecargado	%	Subcargado	%
5	40	1,45	14	0,51	207	8
10	125	4,53	37	1,34	585	21
15	93	3,37	26	0,94	409	15
25	85	3,08	11	0,40	276	10
30	1	0,04	5	0,18	158	6
37,5	35	1,27	9	0,33	151	5
45	2	0,07	1	0,04	70	3
50	15	0,54	8	0,29	173	6
60		0,00		0,00	25	1
75	3	0,11		0,00	115	4
100	2	0,07	2	0,07	62	2
112,5	2	0,07	1	0,04	10	0
Total	403	15,00	114	4,00	2241	81,00

Nota. En la tabla se puede observar el estado actual de los transformadores, siendo los subcargados los de mayor influencia, esto quiere decir que estos transformadores incurren en pérdidas en el núcleo, ya que la potencia del mismo no es utilizada. Fuente: Desarrollado por el autor

Para identificar la información de modo más sencillo se han trasladado los datos de la tabla 9 a la figura 14, nótese que el mayor porcentaje de transformadores subcargados se encuentran en los transformadores monofásicos entre las potencias de 10, 15 y 25 kVA, y en los transformadores trifásicos entre las potencias de 50 y 75 kVA, esto se debe principalmente a que el costo de instalación no representa una variación representativa entre los transformadores indicados, respecto a los de potencia inferior inmediata, siendo más atractivo para instalar más potencia por un costo similar.

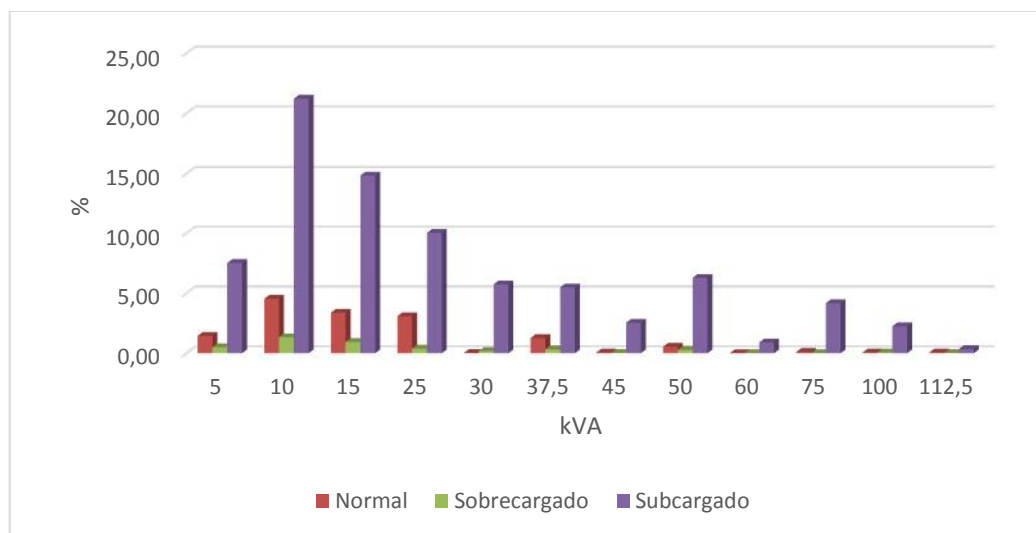


Figura 14. Distribución del estado de los transformadores por potencia. Fuente: Desarrollado por el autor.

Con el CYMDIST se determinaron las pérdidas totales en el sistema de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., a partir de la modelación de los datos ingresados en el módulo de distribución de carga en cada cabecera de los alimentadores de distribución, los mismos que se obtuvieron de los registros en los medidores de cada alimentador como se aprecian en la tabla 10.

Tabla 10.

Consumos ingresados en cabecera en el módulo de distribución de carga del CYMDIST.

Circuitos primarios EMPRESA ELEÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A.	Consumos MW . h
01CV13B1S1 (011 Oriental)	403,79
01CV13B1S3 (013 Redes Subterráneas)	313,52
01CV13B1S4 (014 Latacunga Sur)	540,37
02SR13B1S1 (021 Brigada Patria - Calera)	1 092,75
02SR13B1S2 (022 Santa Rosa - Pujilí)	1 144,48
02SR13B1S3 (023 Mall Maltería)	74,95
02SR13B1S4 (024 Niagara)	368,96
04ML13B1S1 (041 Mulaló - José Guango Bajo)	579,23
04ML13B1S2 (042 Saquisilí - Guaytacama)	962,63
05LA13B1S1 (051 Toacazo)	1 040,45
05LA13B1S2 (052 Tanicuchí - Río Blanco)	491,70
05LA13B1S3 (053 Chasqui San Agustín)	283,19
05LA13B1S4 (054 Lasso Centro - Sur)	334,28
06CH13B1S1 (061 Yugsiloma)	202,89
06CH13B1S3 (063 Latacunga Centro Norte)	565,22
06CH13B1S5 (065 Latacunga Norte - Aláquez)	869,62
Total	9 268,00

Nota. Datos registrados en cabeceras de cada subestación. Fuente: Desarrollado por el autor

Además se puede apreciar en la figura 15 que los circuitos con mayor demanda de energía se encuentran en las subestaciones San Rafael, Mulaló y Lasso.

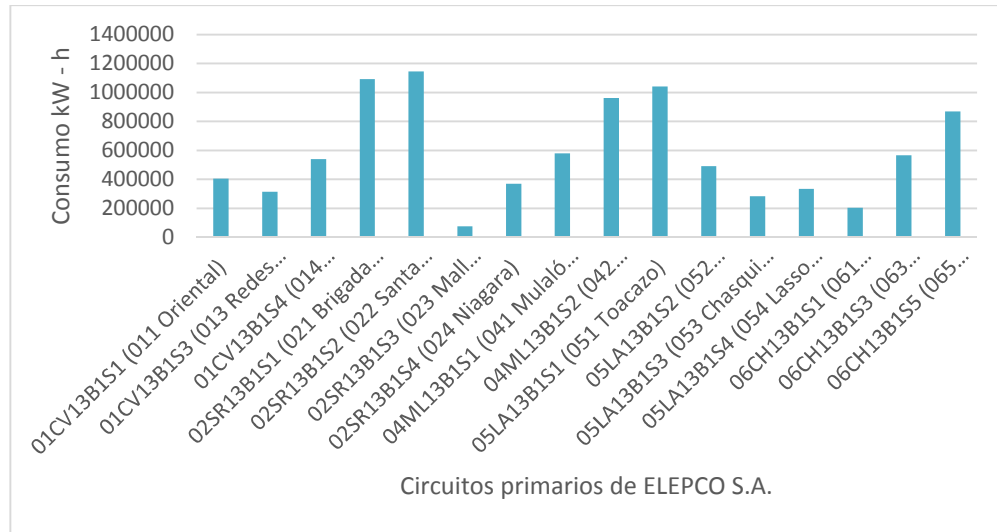


Figura 15. Consumos de cabecera registrados por los medidores ION en las cabeceras de los circuito primarios de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. Fuente: Desarrollado por el autor.

3.1.1.2.1. *Cálculo de las pérdidas de potencia en los transformadores de distribución en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.*

El módulo CYMDIST muestra el resultado de las pérdidas en los transformadores, tanto en el núcleo que son constantes, como en las bobinas que dependen de la demanda de energía eléctrica, la tabla 11 indica de forma detallada las pérdidas de potencia para cada una de las potencias nominales de los transformadores existentes en el sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

Tabla 11. *Detalle de las pérdidas de potencia por transformador.*

Transformadores	kVA	Cantidad	kW		Totales
			Pcu	Pfe	
Monofásicos	5	261	4,9	7,05	11,9
	10	747	54,9	28,39	83,3
	15	528	39,0	26,93	65,9
	25	372	45,8	26,78	72,6
	37,5	195	34,5	20,87	55,4

Transformadores	kVA	Cantidad	kW		Totales
			Pcu	Pfe	
	50	64	9,8	10,62	20,4
	30	164	1,4	31,2	32,6
	45	73	7,1	15,11	22,2
	50	132	6,3	28,51	34,8
Trifásicos	60	25	1,3	5,88	7,2
	75	118	10,4	30,09	40,5
	100	66	12,5	19,21	31,7
	112,5	13	5,3	4,68	10,0
Totales			233,23	255,31	488,54

Nota. Fuente: Las pérdidas en el núcleo son constantes, es decir las mismas no dependen de la carga, por esto es importante enfocarnos en el control de las mismas, en la tabla se pueden ver las pérdidas en el núcleo que incurren cada grupo de transformador en la columna Pfe. Fuente: Desarrollado por el autor

En la tabla 11 se puede observar las pérdidas de los transformadores tanto en el núcleo como en las bobinas de los transformadores monofásicos y trifásicos de diferentes potencias. El total de pérdidas en el núcleo es de 233,23 kW y las pérdidas en la bobina es de 255,31kW dando un total de pérdidas de 488,54 kW. Además se observa que las mayores pérdidas se registran en los transformadores de 10 kVA, debido que son las pérdidas de la potencia acumulada instalada, es decir se tiene 747 transformadores instalados.

3.1.1.2.2. Cálculo de las pérdidas de energía en los transformadores de distribución en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. en el cantón Latacunga.

Con la ecuación 4, se puede mostrar las pérdidas de energía para cada una de las potencias nominales de los transformadores a partir de las pérdidas de potencia, mostrados en la tabla 12.

Tabla 12.

Pérdidas de energía en los transformadores de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en el cantón Latacunga.

Transformadores	kVA	Cantidad	MW - h	%
	5	261	1,04	0,01
	10	747	7,29	0,08
Monofásicos	15	528	5,77	0,06
	25	372	6,36	0,07
	37,5	195	4,85	0,05

Transformadores	kVA	Cantidad	MW - h	%
	50	64	1,79	0,02
	30	164	2,86	0,03
	45	73	1,94	0,02
	50	132	3,05	0,03
Trifásicos	60	25	0,63	0,01
	75	118	3,55	0,04
	100	66	2,78	0,03
	112,5	13	0,87	0,01
Totales			42,79	0,46

Nota. Las pérdidas de energía en los transformadores de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. en el cantón Latacunga, son de 42,79 MW – h, siendo el mayor porcentaje de pérdidas registradas en los transformadores de 10 kVA, con un porcentaje de 0,08%. Fuente: Desarrollado por el autor

3.1.2. Resultado de las curvas de servicio y operación en los transformadores de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

De acuerdo a la ecuación 2 se determinan las curvas de operación para los transformadores de distribución.

3.1.2.1. Curvas de eficiencia energética en los transformadores de distribución monofásicos

La figura 16 muestra la representación gráfica del comportamiento de las pérdidas de energía en un transformador de 5kVA, reflejadas en la curva de pérdidas de energía, con respecto a los costos que involucran la inversión inicial, se puede observar que la curva de pérdidas energéticas por servicio y operación refleja el costo total del transformador en servicio.

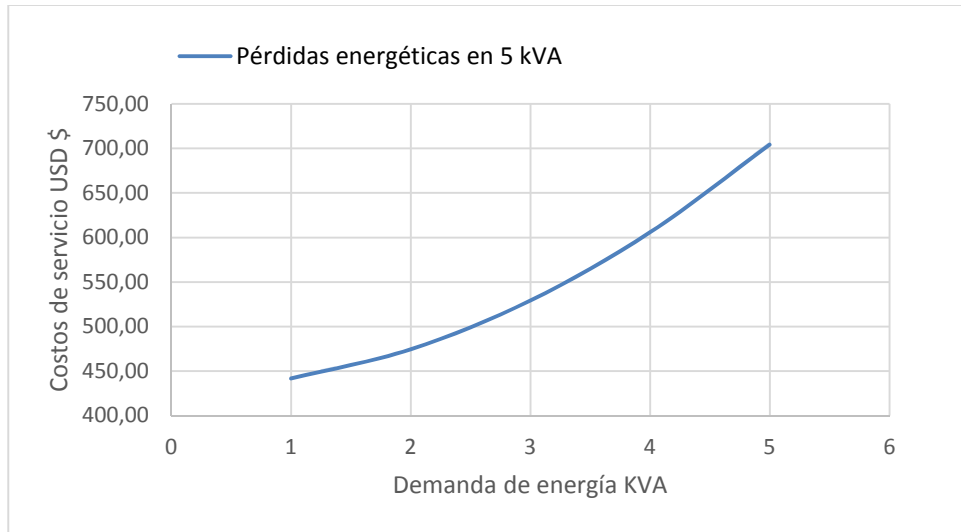


Figura 16. Curva de eficiencia energética del transformador de 5 kVA. Fuente: Desarrollado por el autor.

En la tabla 13 se puede observar cómo se realizó el cálculo para determinar la curva de eficiencia energética del transformador monofásico de 5 kVA.

Tabla 13.

Calculo de los costos de servicio y operación del transformador de 5 kV.A

Transformador 5 kVA	Costo pérdidas de potencia					Costo pérdidas de energía						Amortización de la inversión				Costo de operación y mantenimiento			Curva de eficiencia energética 5 kVA	
	Pérdidas de potencia			Costo de la demanda 811,27 USD	CPP	Pérdidas de energía				Costo de la energía 0,1 USD	CPE	Factor Amortización		Costo total de la instalación 1212,35 USD	AI	2%	Costo total de la instalación 1212,35 USD			COM
	Pfe	Pcu	fu			Pfe	Pcu	fu	fper			8670	Td				n			
	W	kVAc/kVAn		W	kVAc/kVAn	0,1	horas	12%	30 años											
1	27	163	0,2	811,27	27,19	27	163	0,2	0,1	8670	0,1	239,74	0,12	30	1 212,35	150,51	0,02	1212,35	24,247	441,69
2	27	163	0,4	811,27	43,06	27	163	0,4	0,1	8670	0,1	256,7	0,12	30	1 212,35	150,51	0,02	1212,35	24,247	474,52
3	27	163	0,6	811,27	69,51	27	163	0,6	0,1	8670	0,1	284,97	0,12	30	1 212,35	150,51	0,02	1212,35	24,247	529,23
4	27	163	0,8	811,27	106,54	27	163	0,8	0,1	8670	0,1	324,54	0,12	30	1 212,35	150,51	0,02	1212,35	24,247	605,82
5	27	163	1	811,27	154,14	27	163	1	0,1	8670	0,1	375,41	0,12	30	1 212,35	150,51	0,02	1212,35	24,247	704,3

Nota. La tabla muestra los parámetros de cálculo para las curvas de eficiencia energética de un transformador de distribución de 5 kV.A. Fuente:

Desarrollado por el autor

De acuerdo a la tabla 14 se puede observar los resultados que se obtuvieron para realizar las curvas de eficiencia energética de todos los transformadores monofásicos que se están estudiando.

Tabla 14.
Costos anuales de servicio y operación de los transformadores monofásicos

KVA	Curvas de eficiencia energética					
	5	10	15	25	37,5	50
1	441,69	566,43	701,98	944,35	1 337,21	1 957,79
2	474,52	579,42	710,14	948,70	1 339,67	1 959,13
3	529,23	601,07	723,76	955,95	1 343,75	1 961,38
4	605,82	631,38	742,81	966,10	1 349,48	1 964,52
5	704,30	670,35	767,32	979,15	1 356,83	1 968,55
10		995,09	971,51	1 087,90	1 418,15	2 002,18
15			1 311,82	1 269,15	1 520,33	2 058,24
20				1 522,91	1 663,40	2 136,71
25				1 849,16	1 847,34	2 237,61
30					2 072,15	2 360,93
35					2 337,84	2 506,67
36					2 395,88	2 538,51
37					2 455,56	2 571,25
37,5					2 486,01	2 587,95
40						2 674,83
50						3 078,42

Nota. La tabla muestra los resultados de los valores a partir de los cuales se obtendrán curvas de eficiencia energética para cada una de las potencias de los transformadores trifásicos. Fuente: Desarrollado por el autor.

La figura 17, muestra la curva de eficiencia energética en un transformador de 10 kVA.

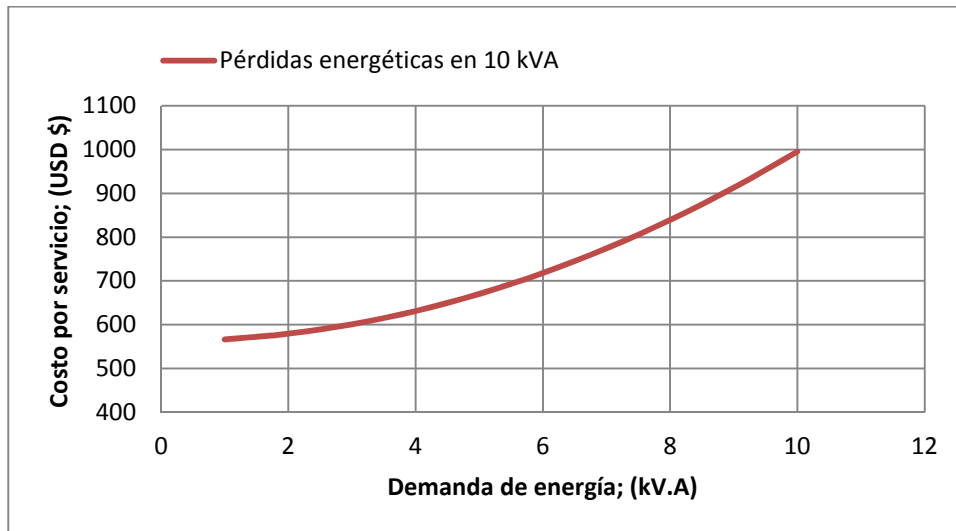


Figura 17. Curva de eficiencia energética del transformador de 10 kVA. Fuente: Desarrollado por el autor.

La figura 18, muestra la curva de eficiencia energética en un transformador de 15 kVA.

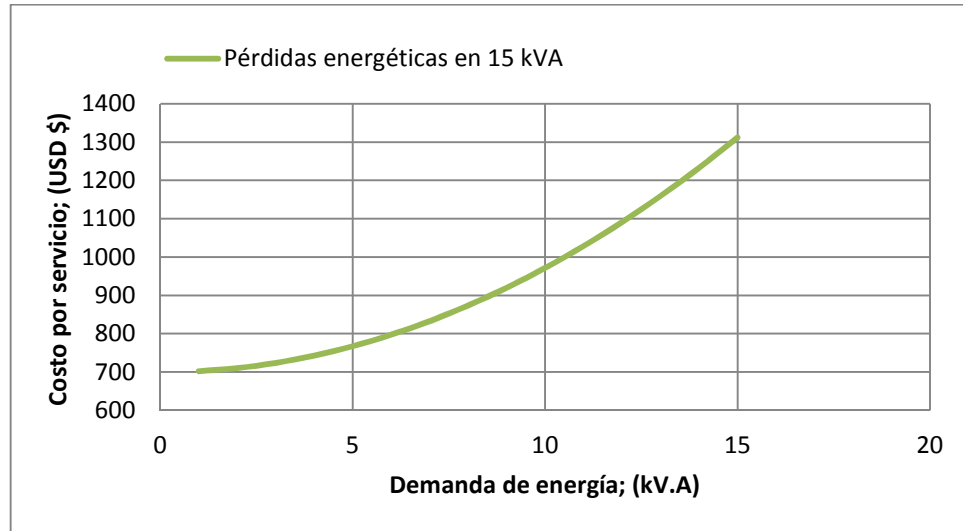


Figura 18. Curva de eficiencia energética del transformador de 15 kVA. Fuente: Desarrollado por el autor.

La figura 19, muestra la curva de eficiencia energética en un transformador de 25 kVA.

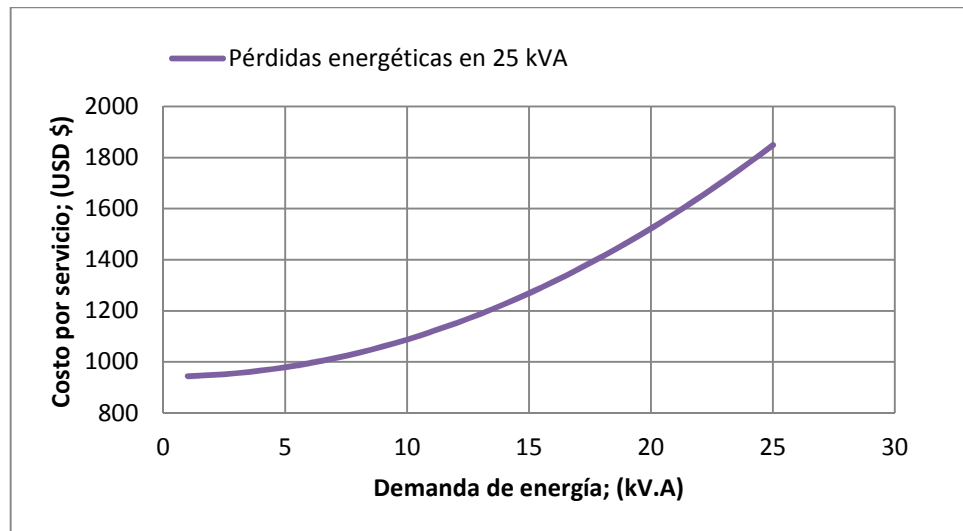


Figura 19. Curva de eficiencia energética del transformador de 25 kVA. Fuente: Desarrollado por el autor.

La figura 20, muestra la curva de eficiencia energética en un transformador de 37,5 kVA.

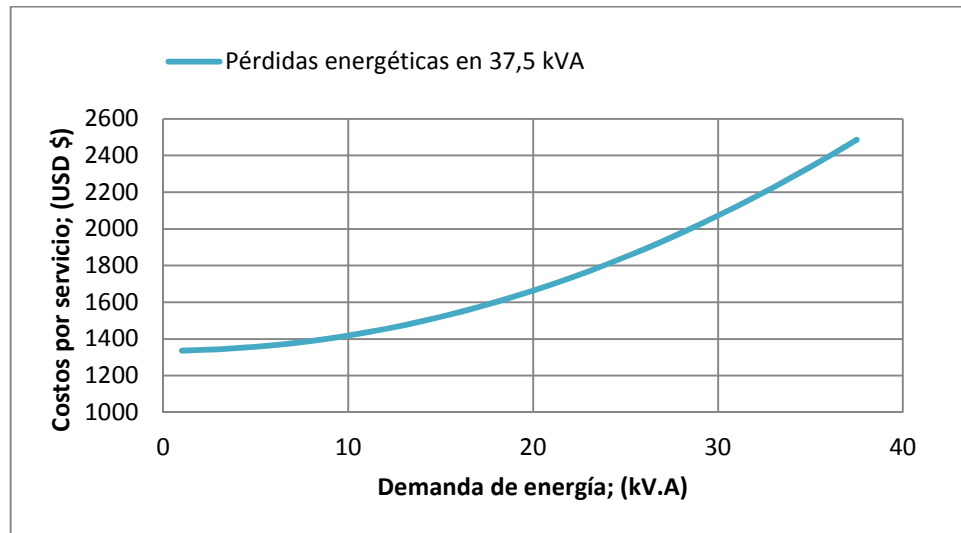


Figura 20. Curva de eficiencia energética del transformador de 37,5 kVA. Fuente: Desarrollado por el autor.

La figura 21, muestra la curva de eficiencia energética en un transformador de 50 kVA.

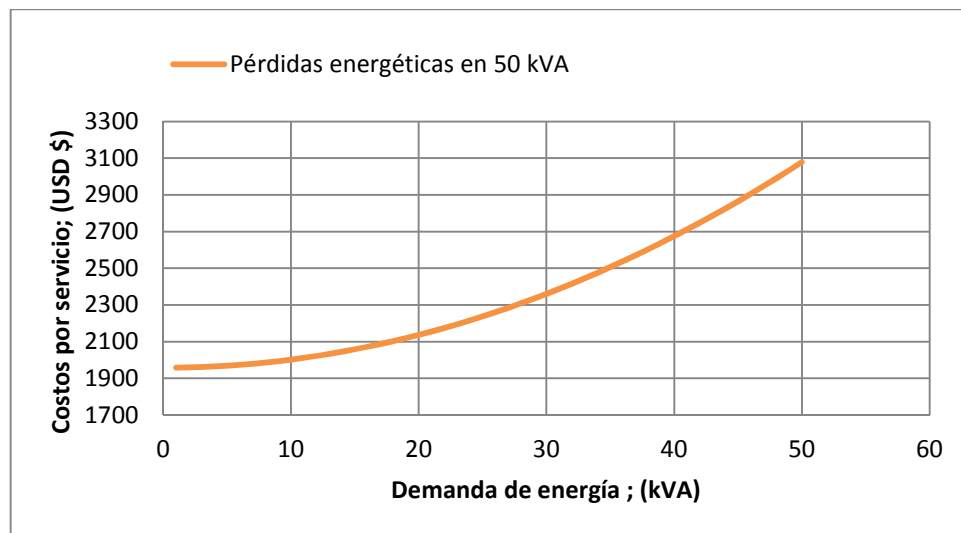


Figura 21. Curva de eficiencia energética del transformador de 50 kVA. Fuente: Desarrollado por el autor.

La figura 22, muestra las curvas de eficiencia energética de cada uno de los transformadores monofásicos.

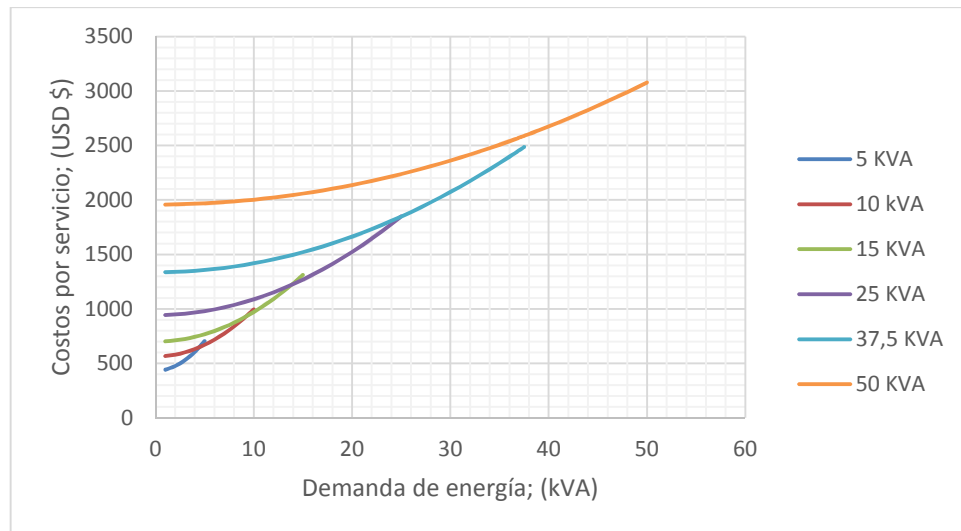


Figura 22. Curva de eficiencia energética de los transformadores monofásicos. Fuente: Desarrollado por el autor.

3.1.2.1. Curvas de eficiencia energética en los transformadores de distribución trifásicos

La figura 23 muestra la representación gráfica del comportamiento de las pérdidas de energía en un transformador de 30kVA, reflejadas en la curva de pérdidas de energía, con respecto a los costos que involucran la inversión inicial en la curva de costos de inversión, se puede observar que la curva de pérdidas energéticas por servicio y operación refleja el costo total del transformador en servicio.

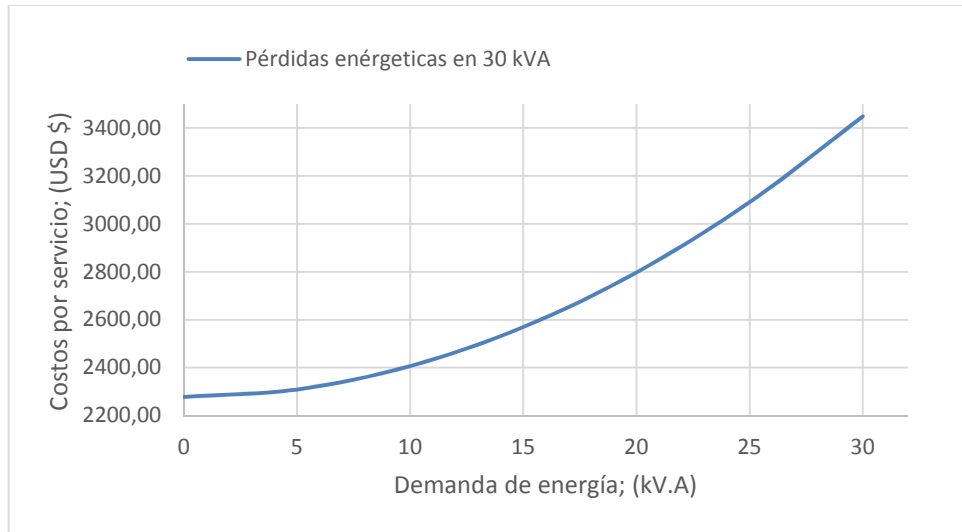


Figura 23. Curva de eficiencia energética del transformador de 30 kVA. Fuente: Desarrollado por el autor.

En la tabla 15 se puede observar cómo se obtuvo el resultado de los cálculos de las pérdidas del transformador de 30 kVA, la metodología se aplica para las diferentes potencias.

Tabla 15.

Calculo de los costos de servicio y operación del transformador de 30 kVA.

Transformador 30 kVA	Costo pérdidas de potencia					Costo pérdidas de energía						Amortización de la inversión				Costo de operación y mantenimiento			Curva de eficiencia energética 30 kVA	
	Pérdidas de potencia			Costo de la demanda 811,27 USD	CpP	Pérdidas de energía				Costo de la energía 0,1 USD	CpE	Factor Amortización		Costo total de la instalación 2 703,93 USD	AI	Costo total de la instalación 2 703,93 USD		COM		
	Pfe	Pcu	fu			Pfe	Pcu	fu	fper			8 670 horas	Td			n	2%			COM
	W	W	kVAc/kVA _n	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	12%	30 años	2 703,93 USD	2 703,93 USD								
0	199	698	0	811,27	161,44	199	698	0	0,1	8 670	0,1	1 725,33	0,12	30	2 704	336	0,02	2 703,93	54,079	2 277
5	199	698	0,17	811,27	177,17	199	698	0,2	0,1	8 670	0,1	1 742,14	0,12	30	2 704	336	0,02	2 703,93	54,079	2 309
10	199	698	0,33	811,27	224,36	199	698	0,3	0,1	8 670	0,1	1 792,57	0,12	30	2 704	336	0,02	2 703,93	54,079	2 407
15	199	698	0,5	811,27	303,01	199	698	0,5	0,1	8 670	0,1	1 876,62	0,12	30	2 704	336	0,02	2 703,93	54,079	2 569
20	199	698	0,67	811,27	413,12	199	698	0,7	0,1	8 670	0,1	1 994,29	0,12	30	2 704	336	0,02	2 703,93	54,079	2 797
25	199	698	0,83	811,27	554,68	199	698	0,8	0,1	8 670	0,1	2 145,58	0,12	30	2 704	336	0,02	2 703,93	54,079	3 090
30	199	698	1	811,27	727,71	199	698	1	0,1	8 670	0,1	2 330,5	0,12	30	2 704	336	0,02	2 703,93	54,079	3 448

Nota. La tabla muestra los parámetros de cálculo para las curvas de eficiencia energética de un transformador de distribución de 30 kV.A Fuente:

Desarrollado por el autor

De acuerdo a la tabla 16 se puede observar los resultados que se obtuvieron para realizar las curvas de eficiencia energética de todos los transformadores trifásicos que se están estudiando.

Tabla 16.
Costos anuales de servicio y operación de los transformadores trifásicos.

KVA	Curvas de eficiencia energética								
	30	45	50	60	75	100	112,5	120	125
0	2 277,83	2 397,74	2 524,99	2 773,65	2 962,94	3 349,09	3 814,90	4 192,94	4 348,73
5	2 309,07	2 419,33	2 544,43	2 788,18	2 974,56	3 356,55	3 820,87	4 200,35	4 355,84
10	2 406,69	2 484,10	2 602,73	2 831,74	3 009,43	3 378,93	3 838,77	4 222,59	4 377,19
15	2 569,39	2 592,05	2 699,90	2 904,35	3 067,53	3 416,22	3 868,60	4 259,65	4 412,77
20	2 797,16	2 743,17	2 835,94	3 006,00	3 148,88	3 468,44	3 910,37	4 311,54	4 462,58
25	3 090,02	2 937,48	3 010,85	3 136,70	3 253,47	3 535,58	3 964,08	4 378,25	4 526,62
30	3 447,96	3 174,96	3 224,63	3 296,44	3 381,30	3 617,64	4 029,72	4 459,79	4 604,90
35		3 455,63	3 477,28	3 485,22	3 532,38	3 714,62	4 107,29	4 556,15	4 697,40
40		3 779,47	3 768,79	3 703,04	3 706,69	3 826,52	4 196,80	4 667,33	4 804,14
45		4 146,50	4 099,18	3 949,91	3 904,25	3 953,34	4 298,24	4 793,34	4 925,11
50			4 468,43	4 225,82	4 125,05	4 095,08	4 411,62	4 934,18	5 060,31
55				4 530,78	4 369,09	4 251,73	4 536,93	5 089,84	5 209,75
60				4 864,78	4 636,38	4 423,31	4 674,17	5 260,32	5 373,41
65					4 926,91	4 609,81	4 823,35	5 445,63	5 551,31
70					5 240,68	4 811,23	4 984,47	5 645,76	5 743,44
75					5 577,69	5 027,57	5 157,52	5 860,72	5 949,80
80						5 258,82	5 342,50	6 090,51	6 170,39
85						5 505,00	5 539,42	6 335,11	6 405,21
90						5 766,10	5 748,27	6 594,55	6 654,27
95						6 042,11	5 969,05	6 868,80	6 917,55
100						6 333,05	6 201,77	7 157,89	7 195,07
105							6 446,43	7 461,79	7 486,82
110							6 703,02	7 780,52	7 792,80
112,5							6 835,79	7 945,45	7 951,13
115								8 114,08	8 113,02
120								8 462,46	8 447,46
125									8 796,14

Nota. La tabla muestra los resultados de los valores a partir de los cuales se obtendrán las curvas de eficiencia energética para cada una de las potencias de los transformadores trifásicos. Fuente: Desarrollado por el autor.

La figura 24, muestra la curva de eficiencia energética en un transformador de 45 kVA, trifásico.

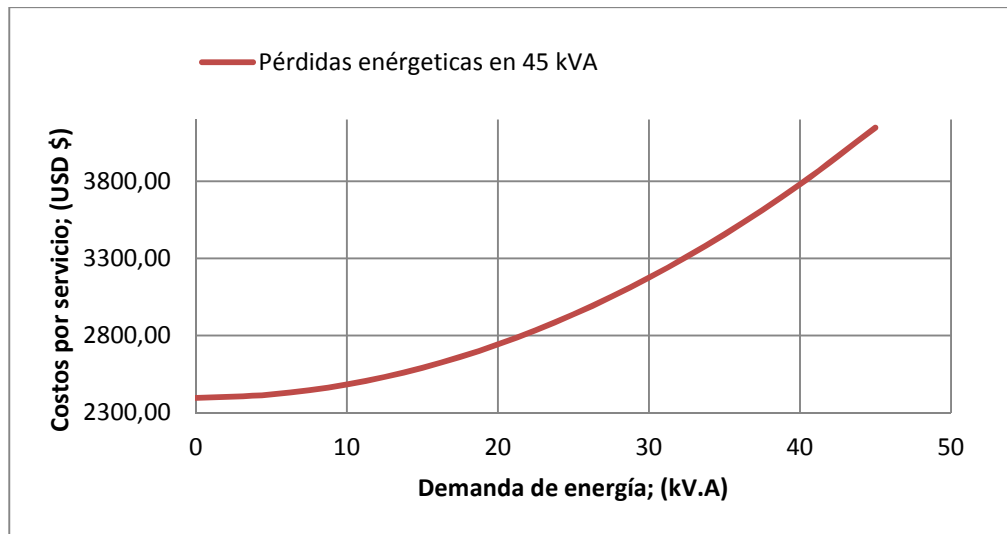


Figura 24. Curva de eficiencia energética del transformador de 45 kVA trifásico. Fuente: Desarrollado por el autor.

La figura 25, muestra la curva de eficiencia energética en un transformador de 50 kVA, trifásico.

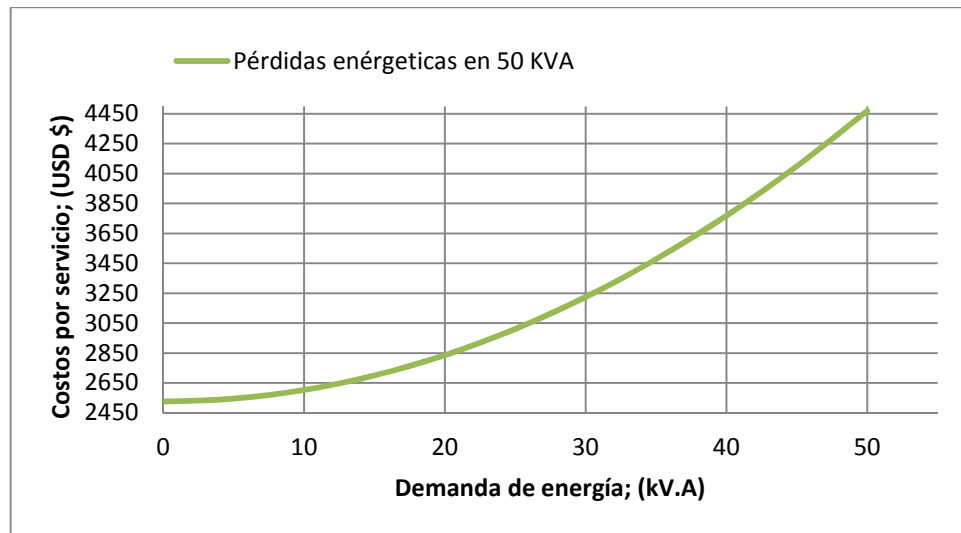


Figura 25. Curva de eficiencia energética del transformador de 50 kVA trifásico. Fuente: Desarrollado por el autor.

La figura 26, muestra la curva de eficiencia energética en un transformador de 60 kVA, trifásico.

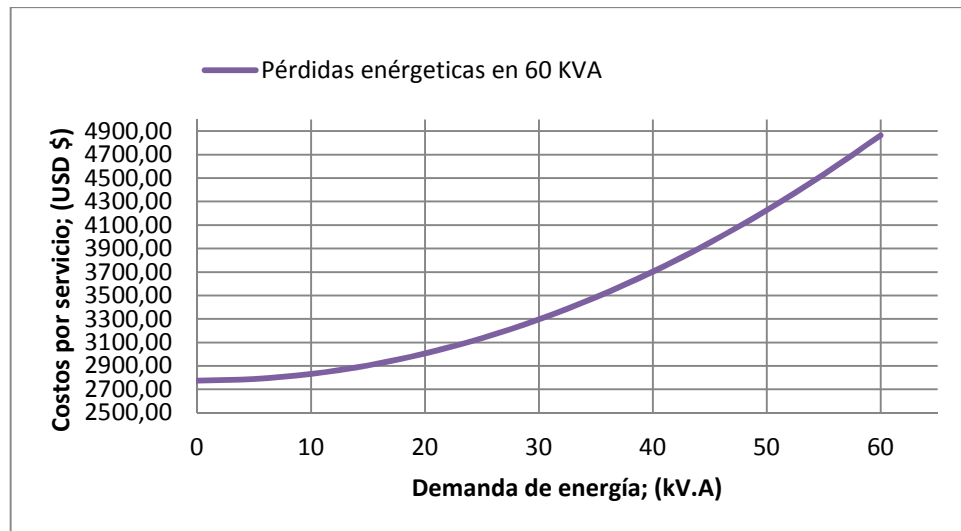


Figura 26. Curva de eficiencia energética del transformador de 60 kVA trifásico. Fuente: Desarrollado por el autor.

La figura 27, muestra la curva de eficiencia energética en un transformador de 75 kVA, trifásico.

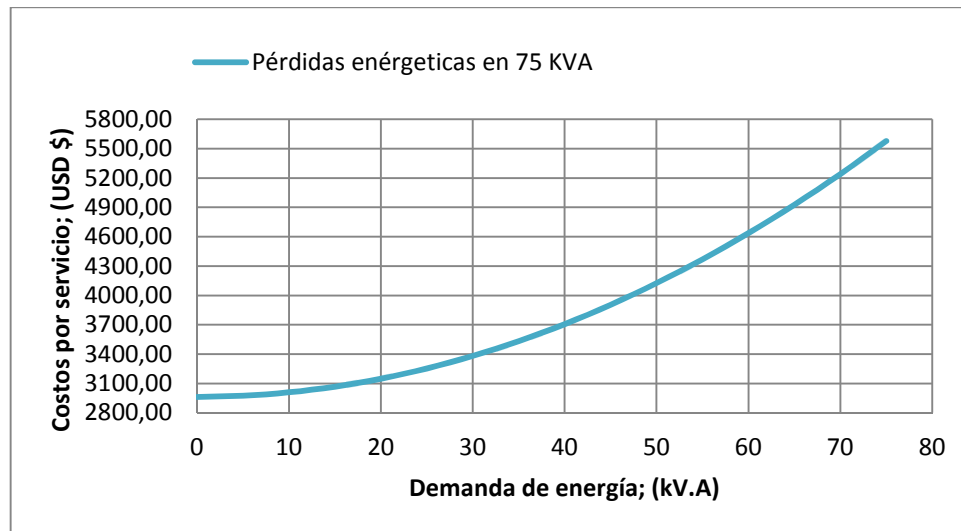


Figura 27. Curva de eficiencia energética del transformador de 75 kVA trifásico. Fuente: Desarrollado por el autor.

La figura 28, muestra la curva de eficiencia energética en un transformador de 100 kVA, trifásico.

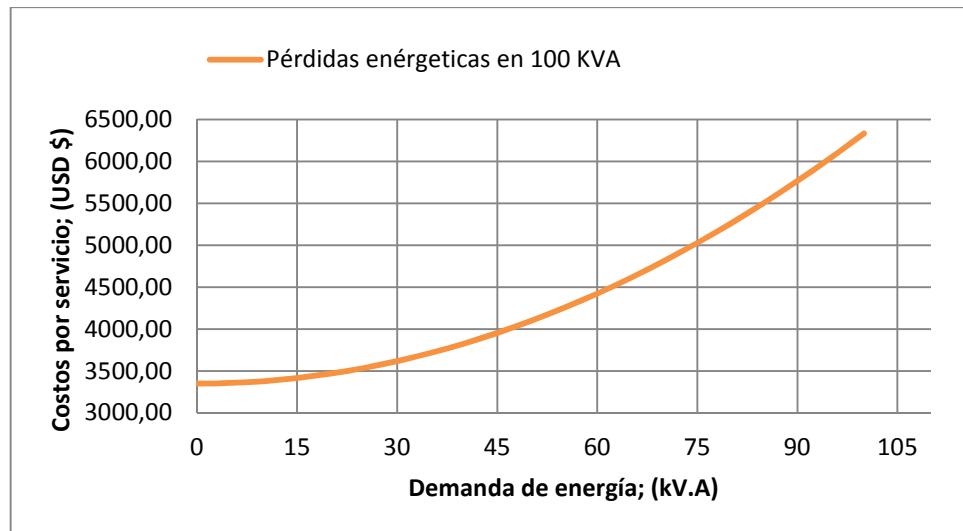


Figura 28. Curva de eficiencia energética del transformador de 100 kVA trifásico. Fuente: Desarrollado por el autor.

La figura 29, muestra la curva de eficiencia energética en un transformador de 112,5 kVA, trifásico.

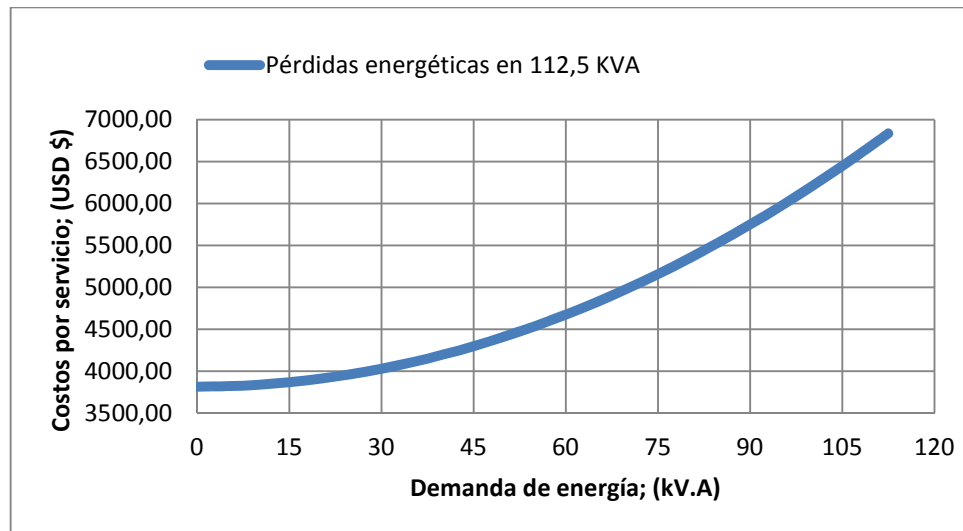


Figura 29. Curvas de eficiencia energética del transformador de 112,5 trifásico. Fuente: Desarrollado por el autor.

La figura 30, muestra la curva de eficiencia energética en un transformador de 120 kVA, trifásico.

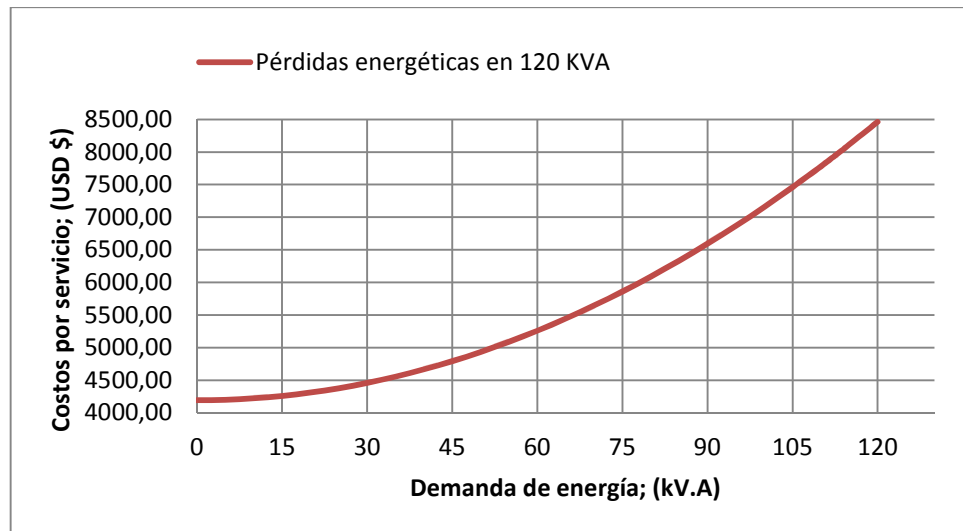


Figura 30. Curvas de eficiencia energética del transformador de 112,5 trifásico. Fuente: Desarrollado por el autor

La figura 31, muestra la curva de eficiencia energética en un transformador de 125 kVA, trifásico.

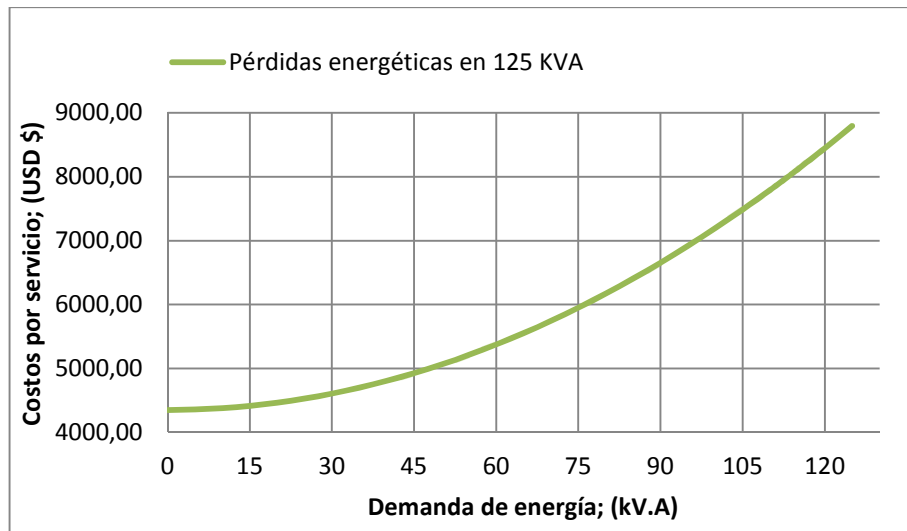


Figura 31. Curvas de eficiencia energética del transformador de 112,5 trifásico. Fuente: Desarrollado por el autor

La figura 32, muestra las curvas de eficiencia energética de forma consolidada de todos los transformadores trifásicos.

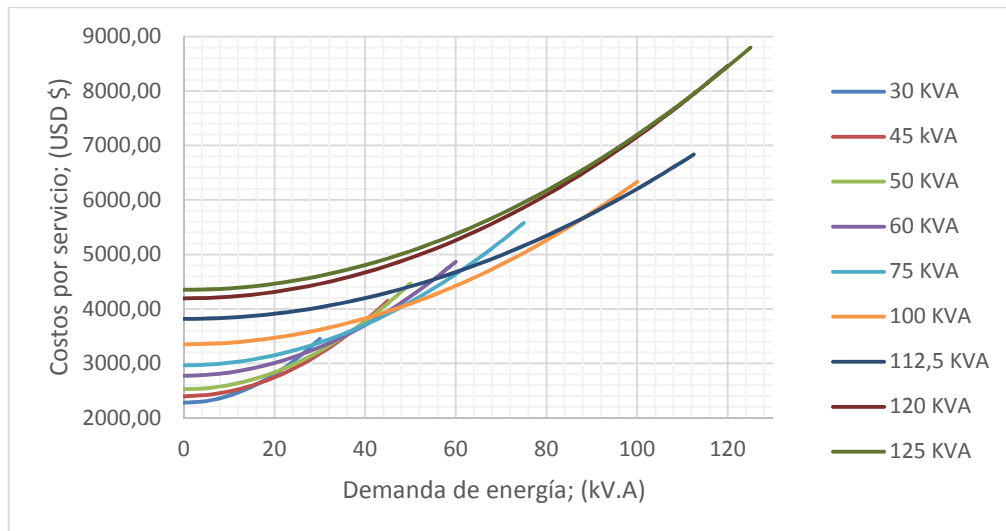


Figura 32. Curvas de eficiencia energética del transformadores trifásicos. Fuente: Desarrollado por el autor

3.2. Conclusiones del capítulo 3

- Las curvas de eficiencia energética han sido empleadas para la selección de conductores en líneas de transmisión y subtransmisión sin embargo la aplicación de la metodología en función de la selección optima de transformadores de distribución, brindan una alternativa que permite disminuir las pérdidas que representan su puesta en servicio y operación.
- Existen varios métodos de selección de transformadores de distribución para los proyectos de redes eléctricas, por lo tanto la selección correcta de un centro de transformación ayuda a disminuir las pérdidas de energía en los sistemas eléctricos de distribución.

CAPITULO 4

4. Propuesta.

Con la recopilación de la información correspondiente del sistema eléctrico de distribución actual de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., que se realizó de acuerdo a los métodos indicados anteriormente, y luego de ser modelados en el software CYMDIST, el mismo mostro los resultados de las pérdidas de energía que se producen con la estructura eléctrica actual, y después de analizar las curvas de eficiencia energética, se plantea una propuesta que permite optimizar el uso de los equipos de transformación, aplicando un método basado en curvas de eficiencia energética.

4.1. Título de la propuesta.

Aplicación de un método basado en curvas de eficiencia energética, para la selección de transformadores de distribución.

4.2. Justificación.

Con las políticas eficiencia energética implantadas por el gobierno en la constitución de la república del Ecuador vigente, y con el cambio de la matriz productiva en el país, se han impulsado programas de eficiencia energética en equipos de uso residencia como son: cambio de focos incandescentes a ahorradores, cambio de refrigeradoras ineficientes por nuevas de eficiencia energética y el plan de cocinas de inducción, pretenden mejorar el uso final de la energía eléctrica. Es importante mencionar que todas estas acciones y programas deben ir acompañadas por procedimientos dentro de las empresas eléctricas de distribución que disminuyan las pérdidas de energía en todas sus etapas.

La propuesta se encuentra plenamente justificada debido a que en la actualidad se siguen empleando métodos tradicionales para la selección de transformadores de distribución en los

diseños realizados, los mismos que se encuentran en función de la demanda máxima que se estima tendrán los nuevos usuarios una vez que se ejecute la obra de construcción.

No obstante este método de selección ha contribuido que existan entre el sistema eléctrico de distribución actual de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi. S.A., equipos sobrecargados y subcargados que durante su servicio y operación han elevado las pérdidas de energía a través de los años.

4.2.1. Determinación del intervalo de eficiencia en transformadores monofásico.

Se puede determinar el intervalo de eficiencia energética de forma gráfica o numérica, en la figura 33 se han graficado las curvas de eficiencia de cada transformador.

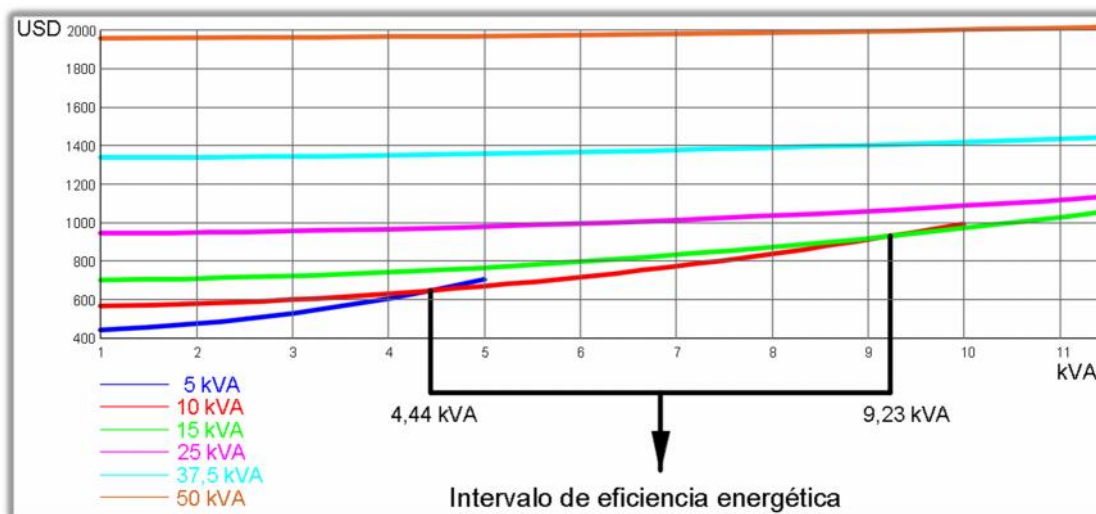


Figura 33. Determinación del intervalo de eficiencia energética de los transformadores monofásicos. Fuente: Desarrollado por el autor

Nótese claramente el punto donde el servicio y operación del transformador de mayor capacidad comienza a ser más eficiente que el de menor capacidad, a partir de la ecuación 3, la tabla 17 muestra los intervalos de eficiencia y los puntos donde el transformador de menor capacidad pierde su eficiencia con respecto a los de mayor capacidad.

Tabla 17.
Intervalos de eficiencia energética en transformadores monofásicos

Intervalo de eficiencia energética				
Menor capacidad		kVA		Mayor capacidad
5	<	4,44	>	10
10	<	9,23	>	15
15	<	13,84	>	25
25	<	24,94	>	37,5
37,5	<	N/A	>	50

Nota. La tabla muestra el rango de intervalo en el cual los transformadores monofásicos de potencia elevada son más eficientes que los de potencia baja. Fuente: Desarrollado por el autor

4.2.2. Determinación del intervalo de eficiencia en transformadores trifásico.

Al igual que los transformadores monofásicos la figura 34 muestra las curvas de eficiencia de cada transformador trifásico, donde se aprecia el intervalo de eficiencia energética entre cada rango de transformadores.

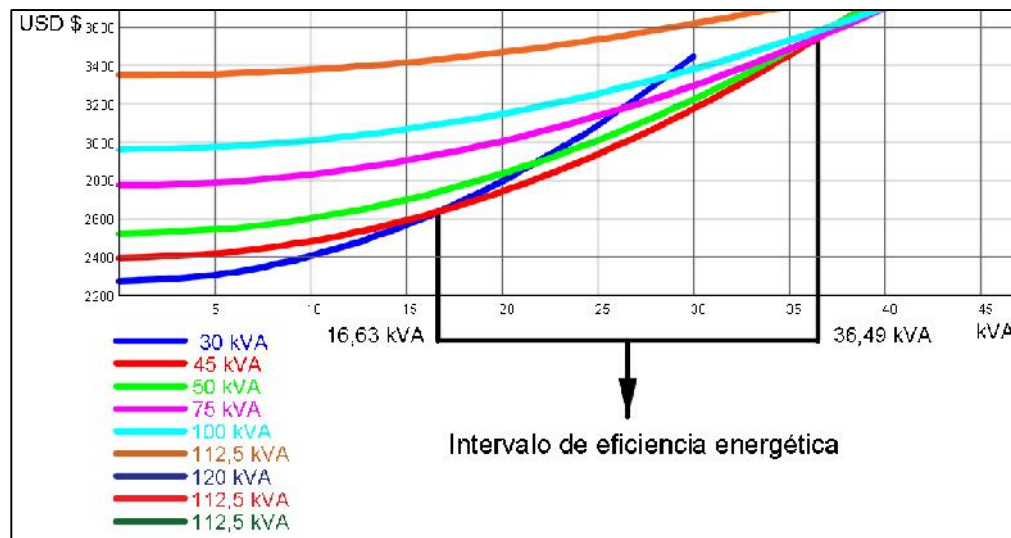


Figura 34. Determinación del intervalo de eficiencia energética de los transformadores trifásicos. Fuente: Desarrollado por el autor

La tabla 18 muestra los intervalos de eficiencia y los puntos donde el transformador de menor capacidad pierde su eficiencia con respecto a los de mayor capacidad, de esta manera se puede sugerir que el transformador de menor capacidad debe ser reemplazado.

Tabla 18.
Intervalos de eficiencia energética en transformadores trifásicos.

Intervalo de eficiencia energética				
Menor capacidad		kVA		Mayor capacidad
30	<	16,63	>	45
30	<	36,49	>	50
45	<	38,52	>	50
50	<	35,57	>	60
60	<	40,39	>	75
75	<	48,17	>	100
100	<	88,32	>	112,5
112,5	<	N/A	>	120
120	<	114,63	>	125

Nota. La tabla muestra el rango de intervalo en el cual los transformadores trifásicos de potencia elevada son más eficientes que los de potencia baja. Fuente: Desarrollado por el autor

4.2.3. Transformadores seleccionados a ser reemplazados.

Con el flujo de potencia y las curvas de eficiencia energética se determina que existen varios transformadores que se encuentran operando fuera del intervalo de eficiencia energética, los mismos que serán reemplazados dentro de la modelación para poder verificar los resultados, estos transformadores se encuentran indicados en la tabla 19.

Tabla 19.
Transformadores seleccionados a ser reemplazados.

Transformadores	kVA	Cantidad
Monofásicos	5	14
	10	41
	15	27
	25	11
Trifásicos	30	6
	45	1
	50	3
	75	3
	100	2
Totales		108

Nota. La tabla indica la cantidad de transformadores seleccionados para ser reemplazados de acuerdo a la propuesta. Fuente: Desarrollado por el autor.

Para evaluar las condiciones de los transformadores y compararlos con las resultantes del CYMDIST, se instalaron analizadores de energía en bajo voltaje en varios transformadores, y partiendo de la ecuación 6 se obtuvo los resultados de la cantidad de transformadores a medir recomendados para cada potencia, los mismos que son mostrados en la tabla 20.

Tabla 20.
Transformadores a ser medidos.

Transformadores	kVA	Cantidad
Monofásicos	5	14
	10	37
	15	25
	25	11
Trifásicos	30	6
	45	1
	50	3
	75	3
	100	2
Totales		84

Nota. La tabla indica la cantidad de transformadores seleccionados para la toma de registros con los analizadores. Fuente: Desarrollado por el autor

En la figura 35, se muestran la distribución de los transformadores monofásicos en el cantón Latacunga, los mismos que fueron valorados a través de mediciones realizadas con los analizadores de bajo voltaje, para de esta manera obtener la demanda de energía.

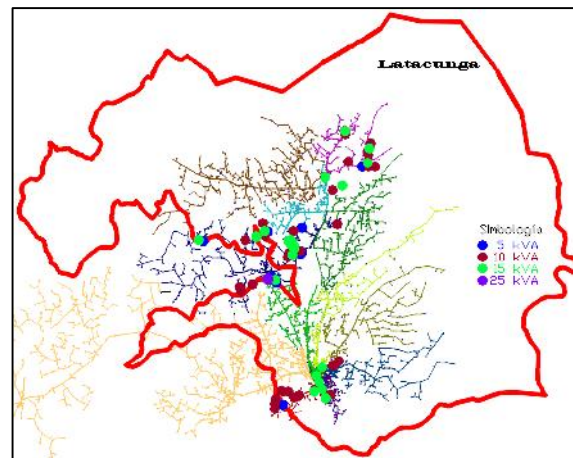


Figura 35. Localización de los transformadores monofásicos seleccionados, para el desarrollo de la propuesta. Fuente: Desarrollado por el autor.

Como se puede observar en la figura 36 se indica las mediciones realizadas en el T 5098 de 25 kVA, en horas de la mañana se registra una demanda elevada entre las 6:00 am hasta las 15:00 am, esto se debe a que el transformador se encuentra ubicado en un sector comercial, donde el movimiento del comercio influye en el dinamismo de la demanda de energía eléctrica, en el periodo de la noche es donde se registra un pico de demanda en el periodo de 19:40 pm hasta las 21:20pm de la noche, esto se debe al comportamiento residencial en este periodo de medición.

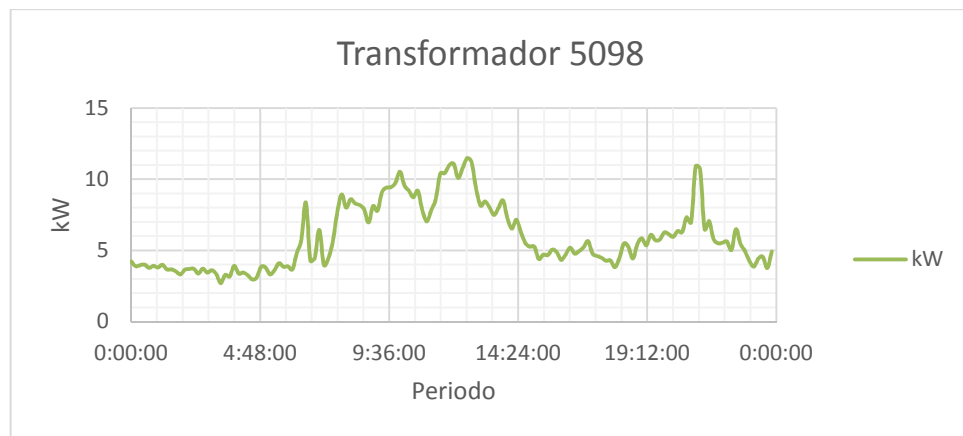


Figura 36. Curva de demanda del transformador monofásico de 25 kVA, código 5098. Fuente: Desarrollado por el autor.

En la figura 37, se muestran la distribución de los transformadores trifásicos en el cantón Latacunga, los mismos que fueron valorados a través de mediciones realizadas con los analizadores de bajo voltaje, para de esta manera obtener la demanda de energía, también se puede determinar que la cantidad de transformadores trifásicos a ser reemplazados no es considerable, en función de los transformadores monofásicos, esto se debe a que los transformadores monofásicos son más empleados debido al costo de instalación que los mismos representan, tanto en el equipo como en la infraestructura que requiere para su funcionamiento.

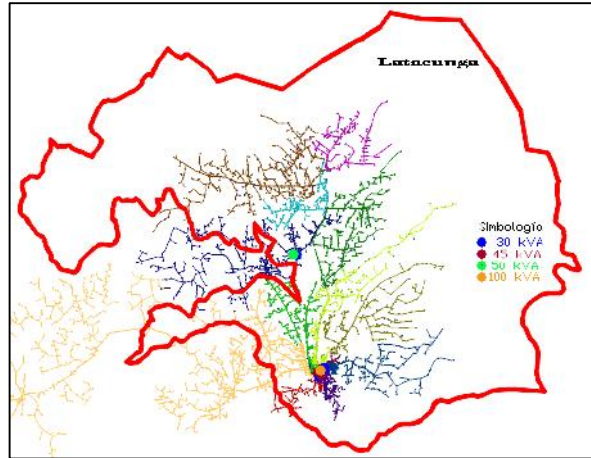


Figura 37. Localización de los transformadores trifásicos seleccionados para el desarrollo de la propuesta.

Fuente: Desarrollado por el autor

Como se puede observar en la figura 38 se indica las mediciones realizadas en el T 13 de 45 kVA, donde se muestra que en horas de la mañana se registran mediciones entre las 6:00 am hasta las 9:00 am elevadas, pero en el periodo de la noche es donde se registra la máxima demanda en un periodo de 18:40 pm hasta las 20:50pm de la noche, esto se debe principalmente a que el transformador está instalado en un circuito completamente residencial, también se puede observar que la demanda mínima de este transformador es de 3kW-h que se mantienen constantes durante todo el periodo de servicio, debiéndose a la energía perdida en el hierro, alumbrado público y a las cargas domiciliarias que se encuentran conectadas en modo de espera.

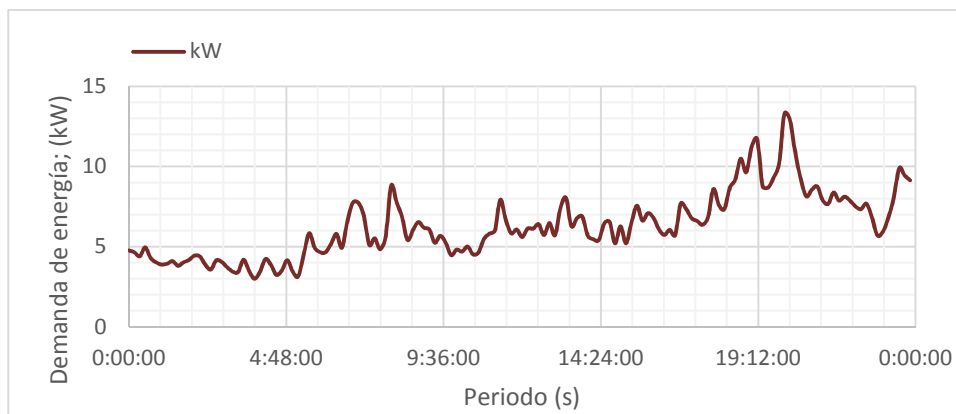


Figura 38. Curva de demanda del transformador trifásico de 45 kVA. Fuente: Desarrollado por el autor.

4.3. Objetivo.

Implementar un método basado en curvas de eficiencia energética, para la selección de transformadores de distribución.

4.4. Estructura de la propuesta.

La propuesta se encuentra estructurada a partir de los procedimientos realizados en el departamento de diseño de proyectos de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., a partir de la intervención de campo de cada uno de los profesionales de diseño, proponiendo la siguiente estructura:

Determinación de las pérdidas de energía a demanda máxima, las mismas que se realizan a partir del flujo de carga del diseño inicial planteado.

Elaboración de las curvas de eficiencia energética a partir de las pérdidas de energía resultantes del flujo de carga realizado.

Selección del transformador de distribución a partir del intervalo de eficiencia energética encontrado a partir de las curvas elaboradas.

4.5. Desarrollo de la propuesta.

La investigación se realiza a través de los datos del sistema de distribución actual de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., determinando las pérdidas de energía que se producen en los transformadores de distribución, a través de los resultados obtenidos la propuesta se desarrolla en dos variantes, la primera se basa en el reemplazo y reubicación de los transformadores existentes que de acuerdo a las curvas de eficiencia energética producen elevadas pérdidas de energía y la segunda en la implantación de la nueva metodología para la selección de transformadores de distribución en la elaboración y diseño de proyectos de expansión de la energía eléctrica.

4.5.1. Selección de transformadores en el sistema eléctrico de distribución en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. en el cantón Latacunga.

Los resultados obtenidos por el CYMDIST reflejaron que las pérdidas de energía en el sistema eléctrico de distribución actual del cantón Latacunga, son de 42,79 MW-h, que representan el 0,46% del total del consumo evaluado, partiendo de este resultado se contrasto el nivel de cargabilidad de cada uno de los transformadores instalados al sistema, y contrastados con los resultados obtenidos de los intervalos de eficiencia energética, determinados para cada tipo de transformador, se ha indicado que 108 transformadores de distribución necesitan ser reemplazados. La nueva modelación del sistema de distribución con los transformadores reemplazados, muestra los valores actuales, indicando una disminución de pérdidas de potencia, los resultados son mostrados en la tabla 21.

Tabla 21.

Detalle de las pérdidas de potencia reemplazando los transformadores propuestos

Transformadores	kVA	Cantidad	kW		Totales
			Pcu	Pfe	
Monofásicos	5	247	6,67	0,03	6,70
	10	720	27,36	46,94	74,30
	15	542	27,64	31,21	58,85
	25	388	27,94	33,46	61,40
	37,5	206	22,04	33,36	55,40
	50	64	10,62	9,78	20,40
Trifásicos	30	158	31,44	12,30	43,74
	45	78	15,99	3,06	19,05
	50	130	28,08	5,02	33,10
	60	28	6,69	0,51	7,20
	75	115	29,33	9,98	39,30
	100	67	19,49	10,45	29,95
	112,5	15	15,40	14,60	10,00
Totales			258,70	200,69	459,39

Nota. Como se puede observar en los datos de la columna totales, los mismos representan los valores de las pérdidas de potencia acumuladas en cada tipo de transformador, y la suma de los parciales reflejan la pérdida

de potencia total encontrado en el flujo después de realizar los cambios propuestos en la modelación. Fuente: Desarrollado por el autor.

Partiendo de las pérdidas de potencia, se calcularon las pérdidas de energía obteniendo los resultados mostrados en la tabla 22, se puede observar que el transformador que produce más pérdidas de energía es el transformador de 100kVA, y el que menos pérdidas produce es el transformador de 5kVA, esto se determina en función de la cantidad de transformadores existentes en cada potencia

Tabla 22.

Pérdidas de energía reemplazando los transformadores de distribución propuestos de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en el cantón Latacunga.

Transformadores	kVA	Cantidad	Pérdidas MW - h	%
Monofásicos	5	247	0,59	0,01
	10	720	6,51	0,07
	15	542	5,16	0,06
	25	388	5,38	0,06
	37,5	206	4,85	0,05
	50	64	1,79	0,02
Trifásicos	30	158	3,83	0,04
	45	78	1,67	0,02
	50	130	2,90	0,03
	60	28	0,63	0,01
	75	115	3,44	0,04
	100	67	2,62	0,03
	112,5	15	0,88	0,01
Totales			40,24	0,45

Nota. Las pérdidas de energía se calcularon a partir de las pérdidas de potencia para cada uno de los tipos de transformadores, reemplazados de acuerdo a la propuesta, y se pueden observar en la columna de pérdidas los mega Watt – hora que se perdería, teniendo 0,45% de pérdidas en función del consumo inicial ingresado en la cabecera. Fuente: Desarrollado por el autor.

Se puede observar que al realizar el cambio sugerido se disminuyen las pérdidas energéticas, las mismas que se reflejan en la tabla 23.

Tabla 23.

Recuperación de energía si la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi aceptara la propuesta.

Transformadores	kV.A	MW		Recuperación de potencia	MW . h		Recuperación de energía
		Pérdidas Actuales	Pérdidas Propuestas		Pérdidas Actuales	Pérdidas Propuestas	
Monofásicos	5	11,9	6,7	5,2	1,04	0,59	0,45
	10	83,3	74,3	9	7,29	6,51	0,78
	15	65,9	58,85	7,05	5,77	5,16	0,61
	25	72,6	61,4	11,2	6,36	5,38	0,98
	37,5	55,4	55,4	0	4,85	4,85	0,00
	50	20,4	20,4	0	1,79	1,79	0,00
Trifásicos	30	32,6	43,74	-11,14	2,86	3,83	-0,97
	45	22,2	19,05	3,15	1,94	1,67	0,27
	50	34,8	33,1	1,7	3,05	2,90	0,15
	60	7,2	7,2	0	0,63	0,63	0,00
	75	40,5	39,3	1,2	3,55	3,44	0,11
	100	31,7	29,95	1,75	2,78	2,62	0,16
Totales	112,5	10	10	0	0,87	0,88	-0,01
		488,54	459,39	29,15	42,79	40,24	2,55

Nota. En la tabla se puede apreciar claramente la recuperación de pérdidas de potencia que son de 29,15

MW y las pérdidas de energía que son de 2,55 MW.h, demostrando que luego de los cambios realizados en el sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. Fuente: Desarrollado por el autor.

4.5.2. Selección de transformadores en proyectos de expansión de energía eléctrica.

Para realizar la selección óptima de transformadores de distribución en proyectos de expansión, el cálculo de las curvas de eficiencia energética partirán del flujo proyectado del circuito de bajo voltaje, para así obtener las pérdidas de potencia a demanda máxima, y las pérdidas de energía estarán calculadas en función de la curva de demanda tipo obtenida con las mediciones realizadas con los analizadores de bajo voltaje.

Luego de realizar las curvas de eficiencia energética, bastara con determinar en qué intervalo de eficiencia esta la demanda requerida en el circuito de bajo voltaje, para seleccionar el transformador más adecuado.

4.6. Evaluación socio-económico-ambiental de la propuesta.

4.6.1. Evaluación socio ambiental.

El proyecto socialmente es viable, debido que el uso eficiente de energías renovables en lugar de las energías generadas por combustibles fósiles, reduce el costo del valor de la energía

al usuario final, esto implica que un mayor número de personas tendrán acceso al uso de la misma, y los que ya disponen de energía eléctrica sustentable podrán hacer uso de la tecnología en procesos residenciales e industriales.

Las energías renovables como es el caso de las hidroeléctricas, representan una fuente inagotable de energía limpia y sostenible, esto es indispensable en el uso de recursos del planeta sin la alteración del mismo. La evaluación ambiental es viable debido a que se plantea un método de selección de transformadores de distribución basado en disminuir las pérdidas de energía, esto significa que la demanda de energía basada en generación eléctrica a través de los combustibles fósiles disminuye.

4.6.2. Evaluación Económica.

Para la evaluación económica se ha considerado dos etapas del proyecto, la primera encaminada al reemplazo de los transformadores que representan perdidas de energía fuera del intervalo de eficiencia energética, y el segundo para la implementación del método propuesto en el departamento de diseño de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

Se ha propuesto el reemplazo de 108 transformadores, para lo cual la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., deberá realizar una inversión inicial representativa, los mismos que se reflejan en la tabla 24, estos gastos deberán ser analizados para determinar la rentabilidad del proyecto previo la búsqueda de financiamiento.

Tabla 24.

Presupuesto referencial para el reemplazo de transformadores de distribución.

Transformadores	kVA	Cantidad	Costos USD			Total USD
			Material	Mano de obra	Transporte	
Monofásicos	5	14	15 809,08	891,80	271,95	16 972,83
	10	41	53 994,13	2 611,70	796,43	57 402,26
	15	27	38 160,72	1 719,90	524,48	40 405,10
	25	11	18 945,63	700,70	213,68	19 860,01
Trifásicos	30	6	15 583,44	251,34	388,80	16 223,58
	45	1	3 043,49	41,89	64,80	3 150,18

	50	3	9 519,48	160,59	248,42	9 928,49
	75	3	10 938,41	160,59	248,42	11 347,41
	100	2	7 914,10	107,06	165,61	8 186,77
Totales						183 476,61

Nota. El costo de 183 476,61, representa el costo de inversión único del proyecto. Fuente: Desarrollado

por el autor.

La viabilidad económica de este proyecto se calcula sobre la inversión de 183 476,61USD sobre el retorno de inversión que está en función de los 1 695 usuarios que se encuentran conectados directamente a los centros de transformación reemplazados, mostrando los cálculos del VAN y el TIR en tabla 25.

Tabla 25.

Cálculos de factibilidad económica de la propuesta.

VAN	TIR	Relación Beneficio Costo	Retorno Económico
34 503,11	14,54	1,19	217 979,72

Nota. El cálculo del TIR es del 14,54%, que demuestra la rentabilidad del proyecto teniendo como relación beneficio costo de 1,19.

El cálculo se lo realizado para los 30 años de vida útil que tendrá el proyecto, sin embargo el uso eficiente del transformador depende del dinamismo de la carga conectada al transformador, por lo que se deben realizar mediciones periódicas que garanticen que el equipo, se encuentre operando en su intervalo de eficiencia energética, cuyos costos se encuentran considerados dentro del costo del proyecto, obsérvese en la tabla 26 el flujo económico que reporta el proyecto a través del periodo de operación.

Tabla 26.

Flujo de económico del proyecto.

AÑO	Inversión (USD)	Ingresos venta de energía (USD)	Beneficio Social recibido (USD)	Total Ingresos (USD)	O & M (USD)	Depreciación	Total Gastos (USD)	NETO/AÑO	Flujo de Caja (USD)
0	-183.477						-183.477	-183.477	-183 477
1		62 062	71 190	133 252	-105 175	-6 116	-111 291	21 962	28 078
2		63 924	71 190	135 114	-107 278	-6 116	-113 394	21 720	27 836
3		65 842	71 190	137 032	-109 424	-6 116	-115 540	21 492	27 608
4		67 817	71 190	139 007	-111 612	-6 116	-117 728	21 279	27 395
5		69 852	71 190	141 042	-113 845	-6 116	-119 960	21 081	27 197
6		71 947	71 190	143 137	-116 121	-6 116	-122 237	20 900	27 016
7		74 106	71 190	145 296	-118 444	-6 116	-124 560	20 736	26 852
8		76 329	71 190	147 519	-120 813	-6 116	-126 929	20 590	26 706

AÑO	Inversión (USD)	Ingresos venta de energía (USD)	Beneficio Social recibido (USD)	Total Ingresos (USD)	O & M (USD)	Depreciación	Total Gastos (USD)	NETO/AÑO	Flujo de Caja (USD)
9		78 619	71 190	149 809	-123 229	-6 116	-129 345	20 464	26 580
10		80 977	71 190	152 167	-125 694	-6 116	-131 809	20 358	26 474
11		83 407	71 190	154 597	-128 207	-6 116	-134 323	20 273	26 389
12		85 909	71 190	157 099	-130 772	-6 116	-136 887	20 211	26 327
13		88 486	71 190	159 676	-133 387	-6 116	-139 503	20 173	26 289
14		91 141	71 190	162 331	-136 055	-6 116	-142 171	20 160	26 276
15		93 875	71 190	165 065	-138 776	-6 116	-144 892	20 173	26 289
16		96 691	71 190	167 881	-141 551	-6 116	-147 667	20 214	26 330
17		99 592	71 190	170 782	-144 382	-6 116	-150 498	20 284	26 400
18		102 580	71 190	173 770	-147 270	-6 116	-153 386	20 384	26 500
19		105 657	71 190	176 847	-150 215	-6 116	-156 331	20 516	26 632
20		108 827	71 190	180 017	-153 220	-6 116	-159 336	20 681	26 797
21		112 092	71 190	183 282	-156 284	-6 116	-162 400	20 882	26 997
22		115 454	71 190	186 644	-159 410	-6 116	-165 526	21 119	27 235
23		118 918	71 190	190 108	-162 598	-6 116	-168 714	21 394	27 510
24		122 485	71 190	193 675	-165 850	-6 116	-171 966	21 710	27 826
25		126 160	71 190	197 350	-169 167	-6 116	-175 283	22 067	28 183
26		129 945	71 190	201 135	-172 550	-6 116	-178 666	22 469	28 585
27		133 843	71 190	205 033	-176 001	-6 116	-182 117	22 916	29 032
28		137 859	71 190	209 049	-179 521	-6 116	-185 637	23 411	29 527
29		141 994	71 190	213 184	-183 112	-6 116	-189 228	23 957	30 072

Nota. El flujo económico del proyecto además de los datos de ingresos y egresos considera el beneficio social que el proyecto tendrá a partir del uso eficiente de la energía.

Es importante anotar que la recuperación de energía es de 2,55 MW.h al año, con una recuperación de potencia instalada de 29,15 MW de potencia instalada recuperada, esto implica que se tendrá una recuperación económica total de la misma que representa de 217 979,72USD.

La segunda etapa del proyecto es la propuesta, de implementar un nuevo método basado en curvas de eficiencia energética, en el departamento de diseño para la elaboración de proyectos de redes eléctricas de distribución, lo cual no representa costos adicionales.

CONCLUSIONES GENERALES

Al aplicar un método analítico basado en curvas de eficiencia energética, se reducirán las pérdidas de energía en los transformadores de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. en el cantón Latacunga, a 40,24 MW.h al año, que en la actualidad representan 42,79 MW.h al año, disminuyendo las pérdidas de energía en 2,55 MW.h al año.

Se determinó los límites de eficiencia energética, los mismos que con su aplicación permitirán reducir las pérdidas de energía en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. en un 0,74% anual en los transformadores de distribución del cantón Latacunga.

Al implementar la propuesta en el departamento de Proyectos de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., se reducirá el 0,74% de pérdidas energéticas, lo que representa un retorno económico después de 30 años de 217 979,72USD que supera la inversión inicial de 183 476,61USD, siendo un proyecto económicamente rentable, esto lo demuestra el cálculo de la TIR que es del 14,54%, dándonos un VAN de 34 503,11.

RECOMENDACIONES

Se puede sugerir, una actualización periódica de las bases de información para que los estudios a realizarse sean confiables y aporten resultados que garanticen cambios eficientes en las redes eléctricas de distribución.

En los estudios de mejora del sistema eléctrico de distribución se debería considerar la gestión energética, como parte de los lineamientos de mejora del servicio eléctrico.

Como plan de control de pérdidas se debería colocar medidores totalizadores a la salida de los transformadores de distribución, que permitan realizar controles periódicos del comportamiento de la demanda.

Dentro de los programas de mantenimiento, las empresas eléctricas de distribución deberían realizar mediciones de los centros de transformación, para evaluar las condiciones de los mismos y crear planes de sustitución de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Vásquez, G. M. (2016). *Evaluación de los diferentes métodos para el cálculo de las pérdidas técnicas en media tensión para redes de distribución*. Universitaria: Universidad de el Salvador.
- Aillón Sánchez, C. P. (2010). *Desarrollo de la metodología eeq s.a. para el cálculo de pérdidas técnicas en alimentadore primarios, y aplicación al primario 04d de la subestación chimbacalle*. Quito: Escuela politécnica nacional.
- Alcón Mesa, J. L., & Ramos Gómez, Á. (2010). *Estudio de la capacidad de carga segura en transformadores de potencia*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Angulo Vera, M. G. (2016). *Análisis técnico y económico de los circuitos 1 y 2 del sector de la Isla Trinitaria de la ciudad de Guayaquil, para la incorporación de las cocinas de inducción*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Asamblea Constituyente. (20 de Noviembre de 2008). Constitución de la República del Ecuador. *Constitución de la República del Ecuador*. Quito, Pichincha.
- Asamblea Constituyente. (30 de 12 de 2014). Ley de Regimen del Sector Eléctrico. Quito, Pichincha, Ecuador: Asamblea Constituyente.
- Bernstein Llona, J. S. (1999). Regulación en el sector distribución eléctrica. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Campos Avella, J. C., Lora Figueroa, E., Meriño Stand, L., Tovar Ospino, I., Navarro Gomez, A., Quispe Oqueña, E. C., . . . Catrillón Mendoza, R. (s.f.). *Eficiencia energética en transformadores eléctricos*. Colombia: Unidad de planeación minero energético de Colombia / Instituto Colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología "Francisco José de Caldas".
- Csirke, Doubleday, Gulland, & Boerema. (1985).

- ECUATRAN S.A. (s.f.). *Transformadores monofásicos y trifásicos de distribución sumergidos en aceite*. Ambato: ECUATRAN S.A.
- Erik, R. (s.f.). *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/80707851/sistemas-monofasicos-bifasicos-y-trifasicos>
- García Gómez, D. F., Navas, D. F., & Rivas, E. (2016). *Enfoque técnico - económico para el dimensionamiento de transformadores de distribución*. Colombia: ISSN.
- Grijalva Torres, E. E. (1998). *Optimización del Empleo de Transformadores de Distribución*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Haro Naranjo, D. P. (2015). *Mejora del factor de utilización de transformadores de distribución de la EEQ*. Quito: Escuela politécnica nacional.
- Herrera García, S., Mahla Pérez, A., & Martínez Vega, G. E. (2013). *Comparación y análisis de los distintos tipos de aceros en el diseño del transformador de distribución obteniendo pérdidas y eficiencia*. México, D.F.: Instituto politécnico nacional "Unidad profesional Adolfo López Mateos".
- Horta Martinez, D. (2002). *Planeación y diseño de redes aéreas de distribución de energía eléctrica en media y baja tensión*. México: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.
- Juárez Cervantes, J. D. (1995). *Sistemas de distribución de energía eléctrica*. Mexico: Ducere.
- Lemozy, N. A. (2009). Rendimiento de transformadores. 8.
- Narvaez Lopez, Y. E., & Prado Linero, K. D. (2012). *Diseño de redes de distribución eléctrica de media y baja tensión para la normalización del barrio El Piñoncito de Campo de la Cruz*. Barranquilla, Colombia: Universidad de la Costa CUC.
- Ordoñez Sanclemente, J. P., & Nieto Alvarado, L. G. (Febrero de 2010). *Mantenimiento de sistemas eléctricos de distribución*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad politécnica Salesiana sede Guayaquil.

- Ortiz Fernández, F. (2016). *Aportaciones a la clasificación energética de transformadores de potencia*. Catabria: Universidad de Catabria.
- Oscullo Marcillo, C. O. (2001). *Programa Interactivo para la Selección y Operación Económica de Transformadores de Distribución*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Parra Parra, D. R. (s.f.). Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Poveda, M. (1999). A new method to calculated power distribution losses in a environment of hogh unregistered loads. *IEEE*, 610.
- Quimis, L. (s.f.). *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/62237256/Sistemas-Monofasicos-y-Trifasicos>
- Ramirez Castaño, S. (2004). *Redes de Distribución de Energía*. Manizales: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia.
- Rámon Fonseca, P. N., & Saavedra Acosta, C. E. (2011). *Análisis y Diagnóstico del Sistema de Subtransmisión a 69 kV, para la demanda actual y para la demanda proyectada al año 2020 en el área de conseción de la ELEPCO S.A.* Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Revista Ejemplode.com*. (07 de 2008). Obtenido de http://www.ejemplode.com/29-logica/145-ejemplo_de_metodos_de_razonamiento_inductivo_y_deductivo.html)
- Rodríguez Medina, G. D. (2015). *Modalidades de la Investigación Científica*.
- Rojas Medina, R. A. (2007). *Siatemas de Costos un Proceso para su Implementación*. Manizales: Universidad Nacional de Colom bia.
- SIGLA, C. (2004). *Definición de una Metodología para la Determinación de las Unidades de Propiedad Estándar (UPE) y Cálculo de los Factores de Responsabilidad de la Carga (FRC)*. Quito: SIGLA, Consultora en Energía;.

Soria Gusman, A., & Frias Castañeda, J. (Mayo de 2004). Operación en un sistema de redes de distribución en media tensión. Mexico D.F., Mexico, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.

Stevenson, W. D. (1985). *Analisis de sistemas eléctricos de potencia*. Carolina del Norte: Fuentes impresores S.A.

Vásquez Granda, P. M. (2013). Parametrización, control, determinación, y reducción de pérdidas de energía en base a la optimización en el montaje de estaciones de transformación en la provincia de Morona Santiago. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad de Cuenca.



ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN

Latacunga, 29 de junio del 2017

Msc. Paulina Freire

DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Presente

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la **VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO** a utilizarse en la recolección de datos para mi investigación sobre **“ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN, EN LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROPUESTA DE APLICACIÓN DE UN MÉTODO DE SELECCIÓN BASADO EN CURVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS”**.

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente: matriz de operacionalización de variables, los objetivos, instrumentos y los formularios.

Por la atención favorable al presente, anticipo mis más sinceros agradecimientos de alta consideración y estima.

Atentamente,

Ing. Diego Renán Parra Parra
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACION

Recibido
29-06-2017



ANEXO 3

OBJETIVOS DEL INSTRUMENTO PARA LA FASE DE DIAGNÓSTICO

Objetivo General

Aplicar un método analítico, basado en curvas de eficiencia energética para la elección óptima de transformadores, que permita disminuir las pérdidas energéticas por servicio y operación, en las redes eléctricas de propiedad de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en la ciudad de Latacunga.

Objetivos específicos

- Aplicar un método basado en curvas de eficiencia energética para la selección óptima de transformadores de distribución.
- Determinar el límite hasta el cual un transformador opera sin incurrir en pérdidas energéticas, con respecto al transformador de potencia inmediata superior.
- Implementar el método propuesto, en el departamento de Proyectos de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., y evaluar el impacto económico producido por la reducción de las pérdidas energéticas.



ANEXO 4

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMES
<u>Independiente</u> La elección óptima de transformadores	Consumos fijos	Energía por operación.	Cálculos- Ecuaciones	kWh
	Consumos variables	Energía por servicio.		
	Selección óptimo y eficiente en transformadores de distribución	Demanda unitaria	Mediciones - Analizadores de energía	VA
		Energía requerida	Protocolo de laboratorio de transformadores	Bibliográfica- Archivos de registro de la empresa eléctrica
<u>Dependiente</u> Determinación las pérdidas energéticas por servicio y operación	Pérdidas energéticas	Pérdidas elevadas por servicio y operación	Cálculos- Ecuaciones	Wh
	Eficiencia energética	Reducción de pérdidas por servicio	Cálculos- Ecuaciones	

Elaboración: Ing. Diego Renán Parra Parra



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	Sin Observaciones
2	✓ P	" "
3	✓ P	" "
4	✓ P	" "
5	✓ P	" "
6	✓ P	" "
7	✓ P	" "
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		


VALIDADOR

CC. 0502056229



ANEXO 6

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

(DEBE COSNTAR TODOS LOS ITEMS DE LA ENCUESTA)

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD			
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR	D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES	
1	✓ O	Sin Observaciones	
2	✓ O	" "	
3	✓ O	" "	
4	✓ O	" "	
5	✓ O	" "	
6	✓ O	" "	
7	✓ O	" "	
8		El trabajo no aplica encuestas, las observaciones están en	
9		función de los items de las variables,	
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
25			


VALIDADOR

CC. 030 2056 229



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

ANEXO 7

LENGUAJE

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

Deyvika Freije
VALIDADOR

CC. 0502056229



ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN

Latacunga, 29 de junio del 2017

PhD.

Enrique Torres

DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Presente

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la **VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO** a utilizarse en la recolección de datos para mi investigación sobre **“ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN, EN LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROPUESTA DE APLICACIÓN DE UN MÉTODO DE SELECCIÓN BASADO EN CURVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS”**.

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente: matriz de operacionalización de variables, los objetivos, instrumentos y los formularios.

Por la atención favorable al presente, anticipo mis más sinceros agradecimientos de alta consideración y estima.

Atentamente,

Ing. Diego Renán Parra Parra
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACION

Recibido
08/07/2017



ANEXO 3

OBJETIVOS DEL INSTRUMENTO PARA LA FASE DE DIAGNÓSTICO

Objetivo General

Aplicar un método analítico, basado en curvas de eficiencia energética para la elección óptima de transformadores, que permita disminuir las pérdidas energéticas por servicio y operación, en las redes eléctricas de propiedad de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en la ciudad de Latacunga.

Objetivos específicos

- Aplicar un método basado en curvas de eficiencia energética para la selección óptima de transformadores de distribución.
- Determinar el límite hasta el cual un transformador opera sin incurrir en pérdidas energéticas, con respecto al transformador de potencia inmediata superior.
- Implementar el método propuesto, en el departamento de Proyectos de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., y evaluar el impacto económico producido por la reducción de las pérdidas energéticas.



ANEXO 4

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMS
<u>Independiente</u> La elección óptima de transformadores	Consumos fijos	Energía por operación.	Cálculos- Ecuaciones	kWh
	Consumos variables	Energía por servicio.		
	Selección óptimo y eficiente en transformadores de distribución	Demanda unitaria	Mediciones - Analizadores de energía	VA
		Energía requerida	Protocolo de laboratorio de transformadores	Bibliográfica- Archivos de registro de la empresa eléctrica
<u>Dependiente</u> Determinación las pérdidas energéticas por servicio y operación	Pérdidas energéticas	Pérdidas elevadas por servicio y operación	Cálculos- Ecuaciones	kVA
	Eficiencia energética	Reducción de pérdidas por servicio	Cálculos- Ecuaciones	Wh

Elaboración: Ing. Diego Renán Parra Parra



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	SIN OBSERVACIÓN
2	✓P	" "
3	✓P	" "
4	✓P	" "
5	✓P	" "
6	✓P	" "
7	✓P	" "
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

VALIDADOR

CC. 1757121940



ANEXO 6

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

(DEBE COSNTAR TODOS LOS ITEMS DE LA ENCUESTA)

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD			
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR	D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES	
1	/0	SIN OBSERVACIÓN	
2	/0	"	"
3	/0	"	"
4	/0	"	"
5	/0	"	"
6	/0	"	"
7	/0	"	"
8		EL TRABAJO NO APLICA ENCUESTA, LAS OBSERVACIONES ESTAN EN	
9		FUNCIÓN DE LOS ITEMS DE LAS VARIABLES	
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
25			

VALIDADOR

CC. 1757121940



ANEXO 7

LENGUAJE

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

VALIDADOR

CC. 1757121940



ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN

Latacunga, 29 de junio del 2017

PhD. Héctor Laurencio
DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Presente

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la **VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO** a utilizarse en la recolección de datos para mi investigación sobre **“ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN, EN LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROPUESTA DE APLICACIÓN DE UN MÉTODO DE SELECCIÓN BASADO EN CURVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS”**.

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente: matriz de operacionalización de variables, los objetivos, instrumentos y los formularios.

Por la atención favorable al presente, anticipo mis más sinceros agradecimientos de alta consideración y estima.

Atentamente,

Ing. Diego Renán Parra Parra
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACION

Recibido
24/6/17
[Handwritten signature]



ANEXO 3

OBJETIVOS DEL INSTRUMENTO PARA LA FASE DE DIAGNÓSTICO

Objetivo General

Aplicar un método analítico, basado en curvas de eficiencia energética para la elección óptima de transformadores, que permita disminuir las pérdidas energéticas por servicio y operación, en las redes eléctricas de propiedad de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en la ciudad de Latacunga.

Objetivos específicos

- Aplicar un método basado en curvas de eficiencia energética para la selección óptima de transformadores de distribución.
- Determinar el límite hasta el cual un transformador opera sin incurrir en pérdidas energéticas, con respecto al transformador de potencia inmediata superior.
- Implementar el método propuesto, en el departamento de Proyectos de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., y evaluar el impacto económico producido por la reducción de las pérdidas energéticas.



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	sin observación
2	✓P	" "
3	✓P	" "
4	✓P	" "
5	✓P	" "
6	✓P	" "
7	✓P	" "
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		


VALIDADOR

CC. F712813



ANEXO 6

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

(DEBE COSNTAR TODOS LOS ITEMS DE LA ENCUESTA)

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD			
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR	D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES	
1	✓O	Sin observación	
2	✓O	" "	
3	✓O	" "	
4	✓O	" "	
5	✓O	" "	
6	✓O	" "	
7	✓O	" "	
8		El trabajo no aplica encuestas, las observaciones están en función de los ítems de las variables	
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
25			


.....
VALIDADOR

CC. I712813



ANEXO 7

LENGUAJE

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


.....
VALIDADOR
CC..... 7712813



ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Latacunga, 29 de junio del 2017

Master

Ángel Tello

ASISTENTE PROFESIONAL DE LA EMPRESA ELECTRICA PROVINCIAL
COTOPAXI S.A.

Presente

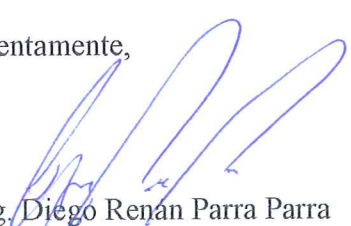
De mi consideración:


A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional investigativa, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la **VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA** como un mecanismo a la solución del problema planteado en el siguiente tema de investigación: **“ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN, EN LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROPUESTA DE APLICACIÓN DE UN MÉTODO DE SELECCIÓN BASADO EN CURVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS”**.

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente.

Por la atención favorable al presente, anticipo mis más sinceros agradecimientos de alta consideración y estima.

Atentamente,


Ing. Diego Renán Parra Parra
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACION

Reservado
29 - Junio 2017




ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Latacunga, 29 de junio del 2017

Master
Carlos Saavedra
DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Presente

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional investigativa, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la **VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA** como un mecanismo a la solución del problema planteado en el siguiente tema de investigación: **“ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN, EN LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROPUESTA DE APLICACIÓN DE UN MÉTODO DE SELECCIÓN BASADO EN CURVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS”**.

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente.

Por la atención favorable al presente, anticipo mis más sinceros agradecimientos de alta consideración y estima.

Atentamente,


Ing. Diego Renán Parra Parra
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACION

*Recibido
29-06-2017*



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

ANEXO 2
INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

TÍTULO DE LA PROPUESTA: Aplicación de un método basado en curvas de eficiencia energética, para la selección de transformadores de distribución.

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 TEORICA: <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	15			

VALIDADO POR:	Nombre: CARLOS EDUARDO SAAVEDRA ACOSTA		
Área de Trabajo. DISTRIBUCIÓN	Título Profesional. ING ELECTRICO INGENIERO EN GESTION ENERGETICA	Cargo u Ocupación. JEFE DE PROYECTOS	Año de Experiencia. 25
Observaciones:			
Fecha:	Telf.: 0998386774	Dirección del Trabajo: MARQUEZ DE MAENRAY QUILASO YORDOÑEZ	C.I: 1802248425


VALIDADOR.



ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Latacunga, 29 de junio del 2017

Master

José Luis Naranjo

**ASISTENTE PROFESIONAL DE LA EMPRESA ELECTRICA PROVINCIAL
COTOPAXI S.A.**

Presente

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional investigativa, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la **VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA** como un mecanismo a la solución del problema planteado en el siguiente tema de investigación: **“ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN, EN LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROPUESTA DE APLICACIÓN DE UN MÉTODO DE SELECCIÓN BASADO EN CURVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS”**.

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente.

Por la atención favorable al presente, anticipo mis más sinceros agradecimientos de alta consideración y estima.

Atentamente,


Ing. Diego Renán Parra Parra
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACION

Recibido



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

ANEXO 2
INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

TÍTULO DE LA PROPUESTA: Aplicación de un método basado en curvas de eficiencia energética, para la selección de transformadores de distribución.

3 = MUY SATISFATORIO	2 = SATISFATORIO	1 = POCO SATISFATORIO
----------------------	------------------	-----------------------

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 TEORICA: <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	15			

VALIDADO POR:	Nombre:		
Área de Trabajo. Calidad de Energía	Título Profesional. Ing. MSc. Gestión de Energías	Cargo u Ocupación. Empleado Público Asistente Profesional I	Año de Experiencia. 6 años
Observaciones:			
Fecha:	Telf.: 0984472605	Dirección del Trabajo: Latacunga	C.I.: 050296450-5

VALIDADOR.