



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS, A NIVEL DE PRIMARIO EN EL ALIMENTADOR GUARANDA - CHIMBO DE LA SUBESTACIÓN GUARANDA PERTENECIENTE A LA CNEL - BOLÍVAR, PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL SERVICIO”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia.

**Autores:**

López Quispe Mauricio Orlando

Núñez Pazmiño Galo Enrique

**Tutor:**

PhD. Iliana González

Latacunga - Ecuador

2017



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Eléctrica

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

### APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: **Galo Enrique Núñez Pazmiño** y **Mauricio Orlando López Quispe** con el título de Proyecto de Investigación: **“DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS, A NIVEL DE PRIMARIO EN EL ALIMENTADOR GUARANDA - CHIMBO DE LA SUBESTACIÓN GUARANDA PERTENECIENTE A LA CNEL - BOLÍVAR, PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL SERVICIO”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación del Proyecto.

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

Para constancia firman:

Lector 1  
PhD. Secundino Marrero  
C.I.: 175710740-7

Lector 2  
MsC. Xavier Proaño  
C.I.: 050265642-4

Lector 3  
MsC. Rommel Suárez  
C.I.: 180416535-3



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Eléctrica

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

Nosotros **Galo Enrique Núñez Pazmiño** y **Mauricio Orlando López Quispe**, se declara ser autores del presente proyecto de investigación: **“DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS, A NIVEL DE PRIMARIO EN EL ALIMENTADOR GUARANDA - CHIMBO DE LA SUBESTACIÓN GUARANDA PERTENECIENTE A LA CNEL - BOLÍVAR, PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL SERVICIO”**, siendo la Ph.D. Iliana González tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

**Galo Enrique Núñez Pazmiño**

Número de C.I. 0201812823

**Mauricio Orlando López Quispe**

Número de C.I. 0502150360



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Eléctrica

## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS, A NIVEL DE PRIMARIO EN EL ALIMENTADOR GUARANDA - CHIMBO DE LA SUBESTACIÓN GUARANDA PERTENECIENTE A LA CNEL - BOLÍVAR, PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL SERVICIO”** de los señores **Galo Enrique Núñez Pazmiño** y **Mauricio Orlando López Quispe**, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico - técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, enero, 2016

Subestaciones

El Tutor:

PhD. Iliana González

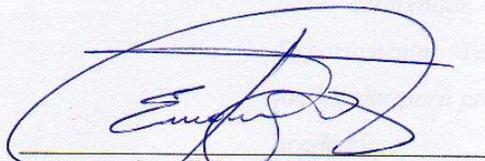
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

## **AVAL DE IMPLEMENTACIÓN**

En calidad de Director Técnico de la Unidad de Negocio Bolívar, certifico que los señores Núñez Pazmiño Galo Enrique con CI.:0201812823 y López Quispe Mauricio Orlando con CI.:0502150360, estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la carrera de Ingeniería Eléctrica realizaron el proyecto de investigación titulado **“DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS, A NIVEL DE PRIMARIO EN EL ALIMENTADOR GUARANDA - CHIMBO DE LA SUBESTACIÓN GUARANDA PERTENECIENTE A LA CNEL - BOLÍVAR, PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL SERVICIO”**, bajo el visto bueno de este departamento, siguiendo todos los lineamientos y requerimientos establecidos por la distribuidora.

Es todo cuanto puedo indicar en honor a la verdad, facultando a los interesados dar uso de este documento en la forma que estimen conveniente

Guaranda Enero del 2017



Ing. Edison Martínez  
**Director Técnico**  
**CNEL-Bolívar**

## **AGRADECIMIENTO**

*Ante todo queremos dar las gracias a Dios por darnos la fuerza para nunca darnos por vencidos y a la vez por seguir adelante y poder cumplir con nuestros sueños y metas planteadas.*

*A nuestros familiares por ser siempre el pilar fundamental y apoyo incondicional para el desarrollo de este proyecto, el cual fue una fortaleza para culminar nuestros objetivos.*

*A nuestra directora del Proyecto de Investigación, PhD. Iliana González, quien supo guiarnos con sus conocimientos para la realización de este proyecto y de esta manera poder alcanzar nuestras metas.*

*A la CNEL - Bolívar por abrirnos las puertas para desarrollar el proyecto en especial al Departamento Técnico por brindarnos las facilidades para poder cumplir nuestros objetivos académicos*

**Galo y Mauricio**

## **DEDICATORIA**

*A mi madre Gloria, por ser la motivación de todos los días*

**Galo**

## DEDICATORIA

*Para alcanzar un sueño se necesita: Sacrificio, Voluntad y Decisión.*

### *Sacrificio*

*Como el tiempo que no pude disfrutar con mi familia y ellos amorosamente comprendieron, por lo que dedico este sueño a mí querida esposa Doris y a mis nenas Mayborth, Meybrith y Monserrath por su comprensión y amor para poder continuar.*

### *Voluntad*

*Como cuando las fuerzas me dejaban aun sabiendo que estaba cerca, gracias querida Madre María y a mis hermanos Wilson, Luis y Pablo que siempre están junto a mi apoyándome cuando mi voluntad quiere abandonarme.*

### *Decisión*

*Como la de mis queridos compañeros de la Universidad Técnica de Cotopaxi que mutuamente avanzábamos con determinación para llegar a la meta, en especial a Galo Núñez compañero de tesis, juntos lo logramos AMIGO.*

**Mauricio**

## ÍNDICE

|           |                                                                                            |           |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b> | <b>INFORMACIÓN GENERAL .....</b>                                                           | <b>10</b> |
| <b>2.</b> | <b>DESCRIPCION DEL PROYECTO .....</b>                                                      | <b>11</b> |
| <b>3.</b> | <b>JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....</b>                                                    | <b>12</b> |
| <b>4.</b> | <b>BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....</b>                                                     | <b>13</b> |
| <b>5.</b> | <b>EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>                                                   | <b>13</b> |
| <b>6.</b> | <b>OBJETIVOS.....</b>                                                                      | <b>14</b> |
|           | <b>General.....</b>                                                                        | <b>14</b> |
|           | <b>Específicos.....</b>                                                                    | <b>14</b> |
| <b>7.</b> | <b>ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACION A LOS OBJETIVOS<br/>    PLANTEADOS.....</b> | <b>14</b> |
|           | <b>Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.....</b>                       | <b>14</b> |
| <b>8.</b> | <b>FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....</b>                                              | <b>15</b> |
|           | <b>Sistemas de distribución .....</b>                                                      | <b>15</b> |
|           | <b>Estructura de una red de distribución .....</b>                                         | <b>16</b> |
|           | <b>Sistemas de Distribución.....</b>                                                       | <b>17</b> |
|           | <b>Sistema de Subtransmisión.....</b>                                                      | <b>17</b> |
|           | • <b>Subestación Eléctrica.....</b>                                                        | <b>17</b> |
|           | • <b>Elementos de un Subestación .....</b>                                                 | <b>17</b> |
|           | <b>Troncales Primarias.....</b>                                                            | <b>18</b> |
|           | • <b>Configurción de sistemas de distribución .....</b>                                    | <b>19</b> |
|           | <b>Redes secundarias .....</b>                                                             | <b>19</b> |
|           | <b>Alumbrado Publico .....</b>                                                             | <b>20</b> |
|           | <b>Acometidas.....</b>                                                                     | <b>20</b> |
|           | <b>Puntos de entrega .....</b>                                                             | <b>20</b> |

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Sistema SCADA.....</b>                                            | <b>20</b> |
| <b>Sistema de Gestión de la Distribución DMS.....</b>                | <b>20</b> |
| <b>Sistema de Gestión de Interrupciones OMS.....</b>                 | <b>21</b> |
| <b>ESCADA OASyS.....</b>                                             | <b>21</b> |
| • <b>Servicios en tiempo real.....</b>                               | <b>21</b> |
| • <b>Servicios historicos.....</b>                                   | <b>22</b> |
| • <b>Interfaz gráfica de usuario.....</b>                            | <b>22</b> |
| <b>Descripción de Terminos Tecnicos.....</b>                         | <b>23</b> |
| • <b>Carga Intalada.....</b>                                         | <b>23</b> |
| • <b>Demanda.....</b>                                                | <b>23</b> |
| • <b>Demanda Máxima.....</b>                                         | <b>23</b> |
| • <b>Curva de demanda.....</b>                                       | <b>23</b> |
| • <b>Factor de demanda.....</b>                                      | <b>23</b> |
| • <b>Factor de carga.....</b>                                        | <b>24</b> |
| • <b>Factor de diversidad.....</b>                                   | <b>24</b> |
| • <b>Factor de pérdidas.....</b>                                     | <b>25</b> |
| • <b>Factor de potencia.....</b>                                     | <b>25</b> |
| • <b>Consumo de energía.....</b>                                     | <b>25</b> |
| <b>Pérdidas de potencia y energía en redes eléctricas.....</b>       | <b>25</b> |
| <b>Clasificación de las pérdidas en los sistemas eléctricos.....</b> | <b>26</b> |
| <b>Pérdidas Técnicas.....</b>                                        | <b>27</b> |
| • <b>Pérdidas en los conductores.....</b>                            | <b>27</b> |
| • <b>Pérdidas en los trasformadores.....</b>                         | <b>27</b> |
| • <b>Pérdidas en medidores.....</b>                                  | <b>27</b> |
| • <b>Pérdidas en alumbrado público.....</b>                          | <b>28</b> |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Pérdidas no técnicas .....                                                           | 28 |
| Aspectos de Calidad .....                                                            | 29 |
| • Calidad de Producto .....                                                          | 29 |
| • Calidad de Servicio Técnico .....                                                  | 29 |
| • Calidad del Servicio Comercial .....                                               | 29 |
| Plan de reducción de pérdidas (PLANREP).....                                         | 29 |
| Metodología para la determinación de las pérdidas técnicas a nivel de primario ..... | 30 |
| • Flujo de Potencia .....                                                            | 31 |
| • Estimación de estado.....                                                          | 31 |
| • Correlación de circuitos similares .....                                           | 31 |
| Alternativas para reducir las pérdidas técnicas.....                                 | 32 |
| • Reconfiguración del Alimentador.....                                               | 32 |
| • Incremento del calibre del conductor.....                                          | 32 |
| • Instalación de condensadores.....                                                  | 33 |
| • Incremento del número de fases .....                                               | 33 |
| • Equilibrio de cargas .....                                                         | 34 |
| 9. HIPÓTESIS .....                                                                   | 34 |
| 10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL .....                                         | 34 |
| Características y capacidades .....                                                  | 36 |
| Técnicas y Herramientas .....                                                        | 36 |
| Características del Sistema Eléctrico. ....                                          | 37 |
| Características de la Carga .....                                                    | 37 |
| Metodología .....                                                                    | 37 |
| 11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....                                     | 37 |
| Análisis del estado actual del sistema .....                                         | 37 |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Identificación de secuencia de fases.....                                            | 43 |
| Lineamientos para diseño y construcción de Alimentadores Primarios.....              | 44 |
| Análisis mediante flujos de potencia .....                                           | 44 |
| Información necesaria para el análisis del alimentador.....                          | 44 |
| Distribución de Carga.....                                                           | 45 |
| Acciones para controlar y mitigar las pérdidas técnicas en le alimentador chimbo. .. | 52 |
| • Balance de Carga .....                                                             | 52 |
| • Reconfiguración del alimentador Chimbo.....                                        | 55 |
| • Repotenciación de conductores.....                                                 | 57 |
| 12. ANÁLISIS ECONOMICO.....                                                          | 59 |
| Criterios para la evaluación económica .....                                         | 60 |
| Análisis Costo Beneficio.....                                                        | 60 |
| Factores para realizar el Análisis Económico .....                                   | 60 |
| • Ahorro de Energía .....                                                            | 61 |
| • Costo de las Pérdidas de Energía.....                                              | 61 |
| Determinación de las pérdidas de Energía .....                                       | 62 |
| 13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                                              | 64 |
| Conclusiones .....                                                                   | 64 |
| Recomendaciones .....                                                                | 66 |
| 14. Bibliografía .....                                                               | 67 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura N° 1</b> Esquema de una red de transporte .....                              | 16 |
| <b>Figura N° 2</b> Esquema de una Subestación.....                                     | 18 |
| <b>Figura N° 3</b> Tipo de configuración para redes de distribución .....              | 19 |
| <b>Figura N° 4</b> Esquemático de gestión de un SCADA.....                             | 21 |
| <b>Figura N° 5</b> Medidor Industrial IÓN 8600.....                                    | 22 |
| <b>Figura N° 6</b> Fundamentos del Plan REP.....                                       | 30 |
| <b>Figura N° 7</b> Esquemático de conexión de capacitores .....                        | 33 |
| <b>Figura N° 8</b> Troncal primaria alimentador Chimbo .....                           | 38 |
| <b>Figura N° 9</b> Composición de transformadores por tipo.....                        | 40 |
| <b>Figura N° 10</b> Demandas periodo móvil alimentador Chimbo.....                     | 41 |
| <b>Figura N° 11</b> Incidencia de interrupciones.....                                  | 42 |
| <b>Figura N° 12</b> Propiedades de la red(parametrización) .....                       | 45 |
| <b>Figura N° 13</b> Configuración para análisis de distribución de carga.....          | 46 |
| <b>Figura N° 14</b> Tramos con anomalías.....                                          | 47 |
| <b>Figura N° 15</b> Alimentador Chimbo con subtensión .....                            | 47 |
| <b>Figura N° 16</b> Alimentador Chimbo con sobrecarga.....                             | 48 |
| <b>Figura N° 17</b> Perfil de Voltaje.....                                             | 51 |
| <b>Figura N° 18</b> Perfil de potencia.....                                            | 52 |
| <b>Figura N° 19</b> Configuración del Balance de Carga.....                            | 53 |
| <b>Figura N° 20</b> Recomendaciones para el balance de carga.....                      | 54 |
| <b>Figura N° 21</b> Anomalías alimentador Chimbo luego del balance de carga .....      | 55 |
| <b>Figura N° 22</b> Resultado parcial de mejoras implementadas (Balance de carga)..... | 47 |
| <b>Figura N° 23</b> Reconfiguración de calibre de conductor .....                      | 58 |
| <b>Figura N° 24</b> Reconfiguración de calibre de conductor .....                      | 58 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla N° 1</b> Sistema de tareas en relación a los objetivos .....                       | 14 |
| <b>Tabla N° 2</b> Clasificación de la perdidas .....                                        | 26 |
| <b>Tabla N° 3</b> Clasificación de los trasformadores por capacidades.....                  | 39 |
| <b>Tabla N° 4</b> Demanda alimentador Chimbo .....                                          | 40 |
| <b>Tabla N° 5</b> Interrupciones año 2016.....                                              | 41 |
| <b>Tabla N° 6</b> Interrupciones año 2016 Cnel EP Bolívar.....                              | 43 |
| <b>Tabla N° 7</b> Niveles admisibles para las caídas de tensión.....                        | 47 |
| <b>Tabla N° 8</b> Resumen de pérdidas en el Alimentador Chimbo.....                         | 48 |
| <b>Tabla N° 9</b> Resumen detallado de las pérdidas por etapa en el alimentado chimbo ..... | 49 |
| <b>Tabla N° 10</b> Puntos Críticos de Voltaje.....                                          | 49 |
| <b>Tabla N° 11</b> Reporte de tramos en condiciones críticas .....                          | 50 |
| <b>Tabla N° 12</b> Análisis de perfil de voltaje .....                                      | 51 |
| <b>Tabla N° 13</b> Reporte balance de cargas .....                                          | 54 |
| <b>Tabla N° 14</b> Resumen del balance de carga .....                                       | 55 |
| <b>Tabla N° 15</b> Resumen de disminución de pérdidas por enlace de transformadores.....    | 56 |
| <b>Tabla N° 16</b> Reporte total del flujo de potencia .....                                | 59 |
| <b>Tabla N° 17</b> Beneficios por alternativas planteadas .....                             | 62 |
| <b>Tabla N° 18</b> Beneficios por alternativas planteadas .....                             | 62 |
| <b>Tabla N° 19</b> Costo de materiales .....                                                | 63 |
| <b>Tabla N° 20</b> Análisis Costo-Beneficio .....                                           | 63 |

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TITULO: “DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS, A NIVEL DE PRIMARIO EN EL ALIMENTADOR GUARANDA-CHIMBO DE LA SUBESTACIÓN GUARANDA PERTENECIENTE A LA CNEL-BOLÍVAR, PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL SERVICIO.”**

**Autor/es:** Núñez Pazmiño Galo Enrique  
López Quispe Mauricio Orlando

### RESUMEN

En el presente proyecto se muestra el análisis técnico, el control y la evaluación económica de las pérdidas técnicas que se producen en el alimentador Guaranda Chimbo de la subestación Guaranda. Se analiza las bases teóricas y metodológicas que emplearemos en la fundamentación de la determinación de las pérdidas técnicas. La metodología se basa en las corridas de flujos de potencia, utilizando el paquete informático de análisis eléctrico Cymdist, el cual permite determinar el comportamiento actual de la red, de esta manera se evalúa las pérdidas y los perfiles de voltaje, para proponer posibles alternativas de solución que estén directamente relacionadas con los aspectos técnico-económicos. Luego de la implementación de las alternativas de solución en el software, se corren los flujos de potencia para analizar los resultados obtenidos, de esta manera se determina el nivel de reducción de pérdidas de potencia y energía, obteniendo los beneficios económicos en el alimentador. Por último se plantean las respectivas conclusiones y recomendaciones, que se deben tomar en consideración para la reducción de pérdidas técnicas del alimentador Chimbo

**Palabras clave:** línea de subtransmisión, pérdidas, energía, potencia, alimentador.

# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

## ACADEMIC UNIT OF APPLIED AND ENGINEERING SCIENCE

**TOPIC:** “DETERMINATION OF TECHNICAL LOSSES, AT LEVEL OF PRIMARY IN THE GUARANDA-CHIMBO FEEDER OF THE SUBSTATION GUARANDA BELONGING TO THE CNEL-BOLÍVAR, TO IMPROVE THE QUALITY OF THE SERVICE”

**AUTHORS:**

Núñez Pazmiño Galo Enrique  
López Quispe Mauricio Orlando

**ABSTRACT**

The present project shows the technical analysis, control and economic evaluation of the technical losses that occur in the Guaranda Chimbo feeder of the Guaranda substation. We analyze the theoretical and methodological bases that will be used in the basis of the determination of technical losses. The methodology is based on the flows of power flows, using the Cymdist electrical analysis software package, which allows to determine the current behavior of the network, thus evaluating losses and voltage profiles, to propose possible alternatives of Which are directly related to the technical and economic aspects. After implementing the solution alternatives in the software, power flows are run to analyze the results obtained, thus determining the level of reduction of power and power losses, obtaining the economic benefits in the feeder. Finally, the respective conclusions and recommendations, which must be taken into consideration for the reduction of technical losses of the Chimbo feeder

Keywords: subtransmission line, losses, energy, power, feeder.



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

## CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS

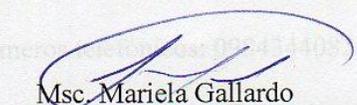
### ***AVAL DE TRADUCCIÓN***

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas: **Núñez Pazmiño Galo Enrique, López Quispe Mauricio Orlando**, cuyo título versa **“DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS, A NIVEL DE PRIMARIO EN EL ALIMENTADOR GUARANDA-CHIMBO DE LA SUBESTACIÓN GUARANDA PERTENECIENTE A LA CNEL-BOLÍVAR, PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL SERVICIO”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

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

Latacunga, Febrero del 2017

Atentamente,

  
Msc. Mariela Gallardo  
**DOCENTE CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS**  
C.C. 0502796162

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título del Proyecto:**

Determinación de las pérdidas técnicas, a nivel de primario en el alimentador Guaranda - Chimbo de la Subestación Guaranda perteneciente a la CNEL - Bolívar, para mejorar la calidad del servicio.

### **Fecha de inicio:**

Septiembre 2015

### **Fecha de finalización:**

Agosto 2016

### **Lugar de ejecución:**

Cantones Guaranda - Chimbo - San Miguel - Provincia Bolívar - zona 5 - CNEL EP Bolívar

### **Unidad Académica que auspicia**

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

### **Carrera que auspicia:**

Ingeniera Eléctrica

### **Proyecto de investigación vinculado:**

### **Equipo de Trabajo:**

Tutor de Titulación:

Nombres y Apellidos: Iliana Antonia González Palau

Fecha de nacimiento: 1960-06-13

Estado civil: Casada

Números telefónicos: 09843440820

e-mail: [iliana.gonzalez@utc.edu.ec](mailto:iliana.gonzalez@utc.edu.ec)

Coordinadores de proyecto:

Nombres y Apellidos: Núñez Pazmiño Galo Enrique

Fecha de nacimiento: 1992-04-02

Estado civil: Soltero

Números telefónicos: 0992330670

e-mail: [galo.nunez3@utc.edu.ec](mailto:galo.nunez3@utc.edu.ec)

Nombres y Apellidos: López Quispe Mauricio Orlando

Fecha de nacimiento: 1975-10-17

Estado civil: Casado

Números telefónicos: 09843440820

e-mail: [mauricio.lopez0@utc.edu.ec](mailto:mauricio.lopez0@utc.edu.ec)

**Área de Conocimiento:**

Ingeniería, industria y construcción.

Ingeniería y profesiones a fines

Electricidad y energía

**Línea de investigación:**

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental

**Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Explotación y diseño de sistemas eléctricos

**2. DESCRIPCION DEL PROYECTO**

El alimentador Chimbo es una red eléctrica que brinda servicio a los cantones de Chimbo, San Miguel y Guaranda, por sus características de trazado, tipo de carga y años de operación los niveles de voltaje y pérdidas no son los adecuados en referencia a la regulación 004/01 emitida por la ARCONEL; por tal motivo se realiza un estudio de pérdidas técnicas a nivel de primario con la utilización del software Cymdist, las características y prestaciones que ofrece el paquete de análisis eléctricos ha permitido realizar flujos de potencia, en donde se ha determinado que las pérdidas a nivel de circuito primario hacen a 312 kW, cabe mencionar que en el resultado se

incluyen las pérdidas que se producen en vacío en el núcleo de los transformadores de distribución, es necesario indicar que las pérdidas se producen principalmente debido al desbalance de carga que tiene el alimentador, adicional el dimensionamiento inadecuado de los conductores como producto del crecimiento de la troncal, ramales y subramales de la red; se plantea tres alternativas para mejorar las pérdidas y los niveles de voltaje, el balance de carga, enlace entre tramos y la repotenciación de conductores en base a la normativa emitida por la CNEL EP Matriz, los resultados luego de la implementación han sido satisfactorios ya que con la modelación de propuestas mencionadas se ha podido reducir a 95kw de pérdidas a nivel de primario, con una inversión de 31721,82 USD, lo que permite que la Unidad de Negocio Bolívar tenga ingresos 12672,8 dólares en el primer año, con un periodo de recuperación de 3 años, el proyecto presenta un índice de rentabilidad de 0,4, por lo que se considera que el proyecto financieramente no es rentable, debido a que la energía eléctrica es un servicio público y que debe ser brindado con calidad y continuidad el proyecto desde con enfoque técnico es viable.

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Siendo la energía eléctrica el principal insumo que mueve al mundo industrial, y actualmente casi indispensable para los comercios y residencias, pues sin ella las empresas se detuvieran y las economías enteras entrarían en crisis, ante ello las empresas distribuidoras de energía eléctrica extienden su área de cobertura del servicio por medio de redes eléctricas que a cada momento sufren cambios en su extensión, lo que implica que las características del servicio en los puntos de entrega y consumo no sean los adecuados, principalmente la desatinada planificación del crecimiento de las troncales primarias con un mal balanceo de las cargas permite que el bajo nivel de voltaje y altas magnitudes de corriente por el neutro incida directamente en los índices de pérdidas, esto provoca que se incumplan las políticas de calidad de energía que emite el ente regulador que para el caso del Ecuador es la ARCONEL; las distribuidoras día a día se esmeran por tener el menor porcentaje de pérdidas técnicas y no técnicas posibles a través de la implementación de lineamientos de carácter analíticos - correctivos.

Al realizar un estudio de pérdidas técnicas permite medir los parámetros actuales de voltaje y compararlos con los porcentajes que establece la ARCONEL, de esta forma poder ajustar los índices ante niveles establecidos y así lograr un suministro con ausencia de interrupciones, sobretensiones, bajos niveles de voltaje, deformaciones de onda producidas por armónicas,

variaciones de voltaje y estabilidad en la frecuencia, esto a su vez reduce las pérdidas de energía, mejorar la eficiencia, la productividad de la empresa, además al prestar un servicio con buena calidad de energía reducen los reclamos por parte de los usuarios por electrodomésticos y equipos quemados o que funcionen de manera incorrecta, se mejorara la confiabilidad, la disponibilidad, el confort, evitara costos por sobredimensionamiento y evita el envejecimiento prematuro de equipos a más de todos los beneficios indirectos que esto conllevaría.

Por lo antes mencionado, es necesario realizar un estudio para mejorar la calidad de energía a través del estudio de flujos de potencia, el análisis comparativo basado en la regulación 004/01 emitida por la ARCONEL, reglamentos de CNEL EP Matriz y medidas de diferentes parámetros eléctricos en el alimentador Guaranda - Chimbo de la subestación Guaranda de la CNEL EP - Bolívar, ya que la red de distribución mencionada, por sus años de servicio y las condiciones de operación, presenta varios problemas que afectan al normal servicio eléctrico.

#### **4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

Generalmente las empresas distribuidoras de energía eléctrica mes a mes son medidas bajos varios parámetros técnicos de calidad de servicio, específicamente la Unidad de Negocio Bolívar presenta índices de interrupciones, índices de recaudación de cartera y porcentaje de pérdidas técnicas y no técnicas como parámetros que permiten medir la calidad de producto que se comercializa, al disminuir los porcentajes de pérdidas el beneficiario directo del proyecto es la Cnel. - Bolívar, debido a que con una disminución de pérdidas permite que el nivel de eficiencia en el servicio se incremente; siendo los beneficiarios indirectos los clientes conectados al alimentador Guaranda - Chimbo, con un total de 4838 usuarios, distribuidos en 2370 clientes de género femenino representando el 49% y por otro lado 2467 clientes de género masculino con el 51%.

#### **5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Generalmente el indicador que mide la eficiencia de las distribuidoras de energía eléctrica son los índices de pérdidas, varias distribuidoras muchas de las veces desconocen el origen de aquellas, en el Unidad de Negocio Bolívar se plantean estudios de pérdidas técnicas para reducir los indicadores, por tal motivo se requiere realizar un análisis en el alimentador Chimbo ya que se tiene desconocimiento de las causas por las que presenta pérdidas técnicas elevadas.

## 6. OBJETIVOS

### General

Determinar las causas de las pérdidas técnicas a nivel de medio voltaje, en el alimentador Guaranda - Chimbo de la subestación Guaranda, perteneciente a la CNEL - Bolívar, por medio de corridas de flujo de carga y el estudio comparativo basado en normativas eléctricas, para reducir los indicadores de pérdidas.

### Específicos.

- Investigar la fundamentación teórica, de tal manera sustentar el desarrollo del proyecto de investigación
- Determinar características de los elementos constitutivos del sistema, para actualizar la base de datos de la CNEL - Bolívar
- Realizar corridas de flujo mediante el programa Cymdist, para determinar las pérdidas de energía y el estado técnico del sistema
- Evaluar técnica y económicamente las propuestas de mejoras del sistema.

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

### Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados

Tabla N° 1 Sistema de tareas en relación a los objetivos

| Objetivo                                                                                                   | Actividad                                                                              | Resultado                                                                                               | Verificación                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Investigar la fundamentación teórica, de tal manera sustentar el desarrollo del proyecto de investigación. | Recopilación de la información referente al tema, tesis, libros, revistas y normativas | Fundamentación técnica para el desarrollo del proyecto.                                                 | Bibliografía adquirida.                         |
| Determinar características de los elementos constitutivos del sistema, para                                | Levantamiento y verificación de la información de los calibres de conductores y        | Obtención de datos reales que permitirán la actualización de la base de datos con respecto a las fichas | Matriz utilizada para el levantamiento in situ. |

|                                                                                                                                  |                                                                                                    |                                                                        |                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| actualizar la base de datos de la CNEL - Bolívar                                                                                 | capacidades de los transformadores que no consten en la base de datos de la CNEL - Bolívar         | existentes de los transformadores y conductores.                       |                                                                                     |
| Realizar corridas de flujo mediante el programa Cymdist, para determinar las pérdidas de energía y el estado técnico del sistema | Simulación del alimentador Chimbo con la información actualizada mediante el levantamiento in situ | Condiciones actuales en la que opera el alimentador                    | Reporte de la base de datos del programa de análisis de sistemas eléctricos Cymdist |
| Evaluar técnica y económicamente las propuestas de mejoras del sistema.                                                          | Obtener los precios referenciales de los materiales, emitido por la CNEL EP                        | Cuantificar el precio de la pérdidas que se producen en el alimentador | Balance económico                                                                   |

Elaborado por: Autores

## 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### Sistemas de distribución

Los sistemas de distribución son redes eléctricas que se caracterizan por brindar servicio a grandes cantidades de clientes, con niveles de voltaje estandarizados y dependientes de la potencia y condiciones técnicas de cada empresa distribuidora, es así que en la actualidad a nivel de país los voltajes a nivel de primario se establecen en 13.8, 22.5, 34.5 kV; dichos sistemas se derivan de una subestación de distribución y su vez de los alimentadores primarios se derivan los circuitos secundarios en baja tensión que brindaran servicio a los usuarios por medio de acometidas y equipos de medición.

Las empresas eléctricas siendo las encargadas de la administración técnica comercial de toda la infraestructura eléctrica, presentan los problemas más fuertes en la etapa de distribución esto debido a varios factores que se mencionan a continuación:

La desatinada planificación y diseño de las redes de distribución tanto primarias como secundarias conlleva a que en corto tiempo los conductores presenten un índice alto de cargabilidad y por ende los voltajes de utilización no siendo los adecuados, en virtud de lo detallado el nivel de pérdidas en los conductores como en los transformadores de distribución se elevara.

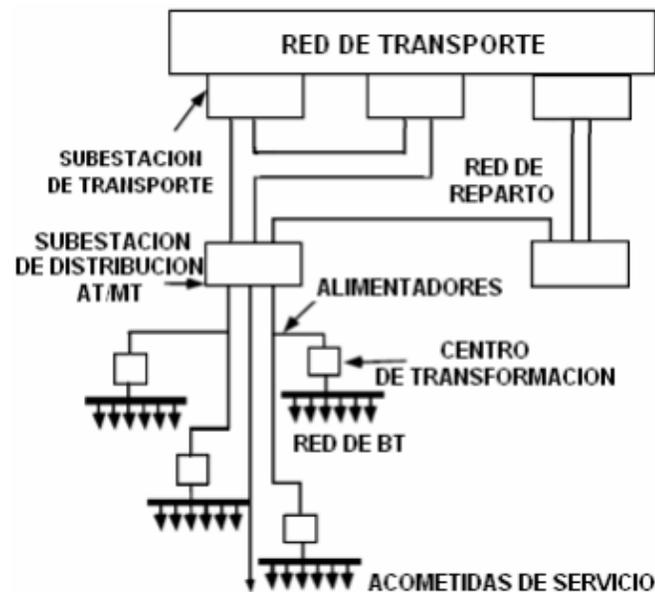
Los procesos de actualización de la información requerida por los sistemas de georeferenciación y análisis de las redes, como proceso paliativo de los índices de pérdidas.

La falta de planes de reducción y control sobre las pérdidas técnicas considerando los índices elevados.

### Estructura de una red de distribución

Generalmente los sistemas de distribución se alimentan de al menos una fuente principal, la energía es transportada por líneas de subtransmisión hacia las subestaciones de distribución en donde el alto voltaje es reducido a medio voltaje para ser repartido a los centros de consumo a través de alimentadores y el medio voltaje a su vez es reducido a voltaje de utilización por medio de los transformadores de distribución.

**Figura N° 1** Esquema de una red de transporte



**Fuente:** MUYUNLEMA, 2008

## **Sistemas de Distribución**

Un sistema de distribución comprende todos los componentes que permiten la entrega de energía eléctrica a diferentes clientes que se encuentran ubicados dentro del área de concesión de la distribuidora, se puede determinar los siguientes componentes:

- Sistemas de Subtransmisión
- Subestaciones de Distribución
- Trocales primarias
- Redes secundarias
- Alumbrado Publico
- Acometidas
- Puntos de entrega

## **Sistema de Subtransmisión**

El sistema de sub transmisión está conformado por Líneas de Subtransmisión, con un voltaje generalmente de 69kV, permiten transportar energía desde la Subestaciones de transmisión hacia las Subestaciones de distribución,

- **Subestación Eléctrica.**

Una subestación eléctrica es una instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, para facilitar la transmisión y distribución de la energía eléctrica.

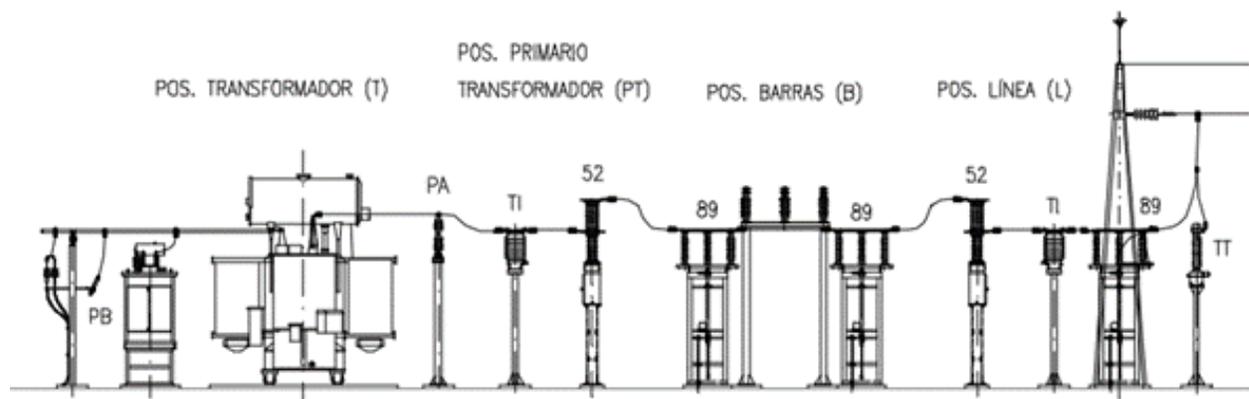
- **Elementos de un Subestación**

- Interruptor de Potencia
- Seccionadores de línea y barra
- Sistemas de barras
- Transformador de potencia
- Transformadores de corriente y voltaje
- Transformador de servicios auxiliares
- Aisladores

- Pararrayos
- Sistema de puesta a tierra
- Trampas - filtros de onda
- Capacitores

En la Figura N° 1 se puede identificar un diagrama esquemático de una conformación de una subestación típica, se cuenta con la posición de llegada de la línea de Subtransmisión o transmisión, aguas abajo se cuenta con distintos equipos de protección y medida como son los seccionadores en generalmente, interruptores de potencia y los transformadores de voltaje (medida) y de corriente (protección).

**Figura N° 2** Esquema de una Subestación



**Fuente:** [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

### Troncales Primarias

De acuerdo con (Miranda, 2011), menciona que:

“Los alimentadores primarios son los encargados de transferir la energía eléctrica desde las subestaciones de distribución hacia los transformadores de distribución. En nuestra región la distribución a nivel primario se efectúa con niveles de tensión de 13.8KV.” En la Unidad de Negocio Bolívar se cuenta con 24 alimentadores primarios de gran extensión lo que permite llegar con voltajes primarios ya sean monofásicos o trifásicos a los centros de transformación y consumo, tomando en cuenta que un gran porcentaje de clientes de la Unidad de Negocio se encuentran en la zona rural. estas troncales están configuradas de manera anillo - mallada,

- **Configuración de sistemas de distribución**

De acuerdo con (Trashorras, 2015), menciona que:

“En función de como se distribuye la energía eléctrica, las redes eléctricas pueden ser, en general de tres tipos (radial, bucle o en malla).” La configuración de construcción de los alimentadores en la Unidad de Negocio Bolívar son de tipo radial, por flexibilidad en la operación y mantenimiento de los sistemas primarios o alimentadores se ha enlazado los extremos de las troncales por medio de seccionadores tripolares, lo que a permitido una configuración de tipo malla, las redes primarias se encuentran en secuencia y correspondencia en sus fases, lo que permite una maniobrabilidad adecuada y segura al momento de realizar transferencias de carga. En la Figura N°3 se muestra los tipos de configuraciones más habituales de los sistemas eléctricos de distribución.

**Figura N° 3** Tipo de configuración para redes de distribución



**Fuente:** (Trashorras, 2015)

### **Redes secundarias**

De acuerdo con (Vera & Guillermo, 2016), menciona que:

“A diferencia de las líneas primarias, estas líneas de distribución se originan en el secundario del transformador de distribución” Generalmente las líneas secundarias o líneas de bajo voltaje en el sistema de la Unidad de Negocio Bolívar y en general de las distribuidoras operan a un voltaje de 121-227 volt.

### **Alumbrado Publico**

De acuerdo con (Pozo, 2014), menciona que:

“El alumbrado público es el servicio público consistente en la iluminación de las vías públicas, parques públicos, y demás espacios de libre circulación que no se encuentren a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho privado”. En la actualidad el alumbrado público juega un papel primordial en relación a la seguridad ciudadana y ornato de parques, avenidas y lugares de afluencia, por lo que la distribuidora invierte parte de su presupuesto en la implementación y mantenimiento del alumbrado público.

### **Acometidas**

Se llama acometida en las instalaciones eléctricas a la derivación desde la red de distribución de la empresa suministradora (también llamada de 'servicio eléctrico') hacia la edificación o propiedad donde se hará uso de la energía eléctrica

### **Puntos de entrega**

Se define como punto de entrega a los clientes que cuentan con un sistema de medición

### **Sistema SCADA**

SCADA, acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un concepto que se emplea para realizar un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), y controla el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su gestión e intervención.

### **Sistema de Gestión de la Distribución DMS**

Un sistema de gestión de la distribución (DMS) es una colección de aplicaciones diseñadas para supervisar y controlar toda la red de distribución eficiente y fiable. Actúa como un sistema de soporte de decisiones para ayudar al personal de operación de sala de control y de campo con el monitoreo y control del sistema de distribución eléctrica. La mejora de la fiabilidad y la calidad de servicio en términos de reducción de apagones , minimizando el tiempo de interrupción del

servicio, el mantenimiento y la frecuencia aceptables de tensión niveles son los resultados clave de un DMS.

### **Sistema de Gestión de Interrupciones OMS**

Un sistema de gestión de interrupciones (OMS) es un sistema de ordenador utilizado por los operadores de sistemas de distribución eléctrica para ayudar en la restauración de la potencia.

En el núcleo de un sistema de gestión de interrupciones moderna es un modelo detallado de la red del sistema de distribución. La utilidad del sistema de información geográfica (GIS) es por lo general la fuente de este modelo de red. Mediante la combinación de las posiciones de las llamadas de interrupción de clientes

### **ESCADA OASyS**

Herramientas de gestión de la información SCADA

**Figura N° 4** Esquemático de gestión de un SCADA



**Fuente:** Schneider Electric

La solución OASys esta compuesta por varios elementos funcionales como son:

- **Servicios en tiempo real**

El servicio en tiempo real permite realizar un barrido de estaciones remotas para adquisición de datos, supervisión y control, detección y procesamiento de alarmas y la ejecución de cálculos definidos por el usuario.

- **Servicios historicos**

Con esta explicación se realiza almacenamiento de medidas, contadores, eventos entre otros, adicional cuenta con la característica de archivado de datos que superen una antigüedad a dispositivo externo para evitar desbordamiento o saturación del disco.

- **Interfaz gráfica de usuario**

Utiliza AutoCAD como entorno de edición, cuenta con varias consolas de operación con la opción de realizar zoom, panning, layers, decluttering, con la posibilidad de trabajar en multimonitor.

### Medidor PowerLogic IÓN8650

Figura N° 5 Medidor Industrial IÓN 8600



Fuente: Schneider Electric

El IÓN 8600 es un medidor de energía y calidad de alimentación para redes de servicios públicos o entradas de servicios, es de alta precisión con un rango de corriente individual (2 veces más precisos que los actuales ANSI / IEC Clase 0,2 estándares de 0.010A - 20A), cumple con los protocolo IEC 61850.

Entre otros, los beneficios que prestan los medidores IÓN 8600 son:

Se utilizan solo PowerLogic IÓN8650 para la medición de los ingresos, la monitorización de calidad de energía y aplicaciones de automatización de subestaciones simultáneamente.

Modular, tecnología IÓN flexible puede adaptarse a los estándares del sector en constante cambio y reglamentos, por lo que su infraestructura no tiene por qué cambiar.

### **Descripción de Terminos Tecnicos**

- **Carga Intalada**

Es la suma de la potencia de todos los equipos que se tiene conectados a una instalación sean fijos o moviles.

- **Demanda**

De acuerdo con (Jaramillo & Rosero, 2014) menciona que:

“Es la potencia requerida por un sistema o parte de el, promediada en un intervalo previamente establecido” la demanda electrica es un parametro que se mide en funcio del consumo que realiza la carga, generalmente es medida y analizada en perdiodos de 10 y 15 minutos

- **Demanda Máxima**

De acuerdo con (Jaramillo & Rosero, 2014), menciona que:

“Es la mayor demanda ocurrida en un sistema o en la parte que interesa de el durante el perido considerado”. La demanda maxima es necesaria para el dimenonamiento de una infraestrucutra tomando en cuenta que es donde se puede producir ecenarios criticos en la operación del sistema, se detemina en base a los valores historicos maximos, habitualmente se analiza en periodos moviles.

- **Curva de demanda**

La curva de demanda no es mas que la representación gráfica de la variación que tiene la demanda en un perido específico de tiempo, siendo los periodos de análisis mas tipicos los diarios, semanales, mensuales y anules; en las curvas de carga se encuentra representada toda la demanda acumulada de los consumidores, incluido la pérdidas que se regitren en cada etapa funcional del sistema.

- **Factor de demanda**

De acuerdo con (Haro, 2015)

“Es la relación que existe entre la demanda máxima y la potencia instalada, el resultado de la expresión siempre deberá ser menor o igual a 1”

$$FdP = \frac{Dmax}{Pinstalada} \quad (1)$$

**Dónde:**

*FdP*: Factor de demanda

*Dmax*: Demanda máxima [kW]

*Pinstalada*: Potencia instalada [kW]

- **Factor de carga**

El factor de carga se define como la relación entre la demanda promedio y la demanda máxima registrada

$$FdD = \frac{Dprom}{Dmax} = \frac{Eperiodo}{tperiodo * Dmax} \quad (2)$$

**Dónde:**

*FdD*: Factor de demanda

*Dprom*: Demanda promedio [kW]

*Dmax*: Demanda Maxima [kW]

*periodo*: Energia en un periodo de tiempo i

*tperiodo*: Tiempo de duracion del periodo

- **Factor de diversidad**

De acuerdo con (Jaramillo & Rosero, 2014), menciona que:

“Es la relacion entre la suma de las demandas individuales maximas de las subdivisiones del sistema y la maxima del sistema como un todo, el factor de diversificacion usualente es menor que la unidad y es el inverso del factor de coincidencia.”

$$Fd = \frac{\sum Dmax individuales}{Dmax totales del sistema} \quad (3)$$

**Dónde:**

*Fd*: Factor de diversidad

$\sum Dmax individuales$ : Sumatoria de la demanda máxima individual [kW]

*Dmax totales del sistema*: Demandas máximas del sistema [kW]

- **Factor de pérdidas**

$$fp = K * FdC + (1 + K) * FdC^2$$

**Dónde:**

*fp*: Factor de pérdidas

*K*: factor de k

*FdC*: Factor de carga

- **Factor de potencia**

De acuerdo con (Llumiquinga Loya, 2012)

“El factor de potencia se define como el cociente de la relación de la potencia activa entre la potencia aparente”

$$\cos \emptyset = \frac{P \text{ activa}}{P \text{ aparente}}$$

**Dónde:**

$\cos \emptyset$ : Coseno del ángulo de desfasaje

*P activa*: Potencia activa [kW]

*P aparente*: Potencia aparente [kWA]

- **Consumo de energía**

Se lo define como la energía eléctrica utilizada por toda o por una parte de una instalación durante un periodo determinado, generalmente esta medición se la realiza en función del tiempo de utilización

**Pérdidas de potencia y energía en redes eléctricas**

El flujo de energía eléctrica a través de equipamientos eléctricos o infraestructuras eléctricas, provoca que se produzcan pérdidas de potencia, esto debido a la oposición al paso de corriente que presenta dichas cargas conectadas al sistema. Habitualmente estas pérdidas son medidas y evaluadas por los departamentos encargados del control de energía, con el fin de dar soluciones ingenieriles que permitan mitigar este efecto, sabiendo que la meta es tener el menor porcentaje posible, ya que este fenómeno siempre estará presente.

Generalmente las pérdidas que se producen en el equipamiento eléctrico son evaluadas y sumadas en un instante de tiempo, a estas se las denomina pérdidas de potencia, y las mismas pérdidas evaluadas en un periodo de tiempo se la cataloga como pérdidas de energía.

### Clasificación de las pérdidas en los sistemas eléctricos.

De acuerdo con (Freire Villacís , 2012)

“En todos los sistemas eléctricos, un elemento presente son las pérdidas de potencia y energía sin embargo, el cálculo de las mismas, en los sistemas eléctricos es una tarea que por lo general debe recibir atención apropiada.” Para el caso en análisis, las empresas que prestan el suministro eléctrico generalmente a las pérdidas eléctricas se las clasifica en dos grupos, las pérdidas no técnicas y las pérdidas técnicas, siendo dos parámetros que influyen de diferente manera y que unidas conlleva a tener pérdidas económicas, se puede identificar varias aristas que suelen provocar este desbalance.

**Tabla N° 2** Clasificación de la perdidas

|                            |                           | POR TIPO                        | POR CAUSA                                                                       |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| TÉCNICAS                   | TRANSPORTE                | TRANSMISIÓN                     | EFECTO CORONA<br>EFECTO JOULE                                                   |
|                            |                           | SUBTRANSMISIÓN                  |                                                                                 |
|                            |                           | DISTRIBUCIÓN                    |                                                                                 |
|                            | TRANSFORMACIÓN            | SUBESTACIONES DE POTENCIA       | RESISTIVAS (EFECTO JOULE Y NIVEL DE CARGA), HISTÉRESIS Y CORRIENTES DE FOUCAULT |
|                            |                           | SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN   |                                                                                 |
|                            |                           | TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN |                                                                                 |
| INSTALACIONES BAJA TENSIÓN | ACOMETIDAS Y MEDIDORES    | RESISTIVAS                      |                                                                                 |
|                            | EQUIPOS DE MEDICIÓN       |                                 |                                                                                 |
| NO TÉCNICAS                | EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN | HURTO                           | CONEXIÓN ILEGAL DESDE LA RED                                                    |
|                            |                           |                                 | CONEXIÓN DIRECTA EN ACOMETIDAS                                                  |
|                            |                           | FRAUDE                          | MANIPULACIÓN DE MEDIDORES                                                       |
|                            |                           |                                 | FUENTES EN MEDIDORES<br>MEDIDORES DAÑADOS<br>MEDIDORES OBSOLETOS                |
|                            | ADMINISTRATIVAS           | ANOMALÍAS DE SISTEMA            | ERROR DE PROCESO<br>ERROR EN LOS CONSUMOS PROPIOS                               |
|                            |                           | ANOMALÍAS DE CÁLCULO            | ERROR POR CONSUMO CONVENIDO                                                     |
| DEFICIENCIA DE INVENTARIO  |                           |                                 |                                                                                 |

**Fuente:** (Freire Villacís , 2012)

En la Tabla N°2 se muestra una clasificación detallada de las pérdidas; en las empresas de distribución de energía eléctrica el principal inconveniente y donde se presentan altos índices de pérdidas técnicas es en la etapa de distribución y transformación, esto debido al mal dimensionamiento del calibre de los conductores conllevando a tener puntos calientes (pérdidas por efecto Joule), los transformadores con sobrecarga dan lugar a elevadas pérdidas internas en el núcleo y bobinados y por ultimo las pérdidas no técnicas son el reflejo de errores en las mediciones por consecuencia de equipos de medición deteriorados o antiguos (electromecánicos), hurto de energía principalmente en el sector rural y la falta de hábito al momento de pagar las planillas de consumo.

### **Pérdidas Técnicas.**

De acuerdo con (Freire Villacís , 2012), menciona que:

“Las pérdidas técnicas constituyen la energía que se disipa y que no puede ser aprovechada de otra manera pero que puede ser reducida, estas son inevitables y es por ello que se encuentran presentes en todos los sistemas eléctricos de potencia” Tomando en cuenta la consideración antes mencionada, el mayor porcentaje de pérdidas técnicas se producen en los conductores, transformadores, medidores y el alumbrado público.

- **Pérdidas en los conductores**

Estas pérdidas son producidas debido al paso de corriente por los conductores de las líneas de transmisión, subtransmisión y redes de distribución tanto primarias como secundarias, generalmente estas son producidas por una sobrecarga o por un mal dimensionamiento de los conductores.

- **Pérdidas en los transformadores**

Se presentan en los transformadores de potencia como en la distribución, el factor de potencia que presentan las cargas conectadas al transformador incide directamente en el porcentaje de pérdidas que se producen en la etapa en mención.

- **Pérdidas en medidores**

Generalmente producidas en medidores defectuosos debido a su tiempo de operación y por efecto de las manipulaciones inadecuadas por parte de agentes extraños al personal autorizado.

- **Pérdidas en alumbrado público**

La gran mayoría de empresas distribuidoras cuenta con un sistema de alumbrado público controlado por elementos fotovoltaicos, esto implica que las fotoceldas fallen en el momento de su operación y conlleve a tener un desperdicio de energía.

Dentro del análisis de las pérdidas técnicas es necesario enfatizar que las causas que las provocan principalmente se deben a:

**Efecto corona**

De acuerdo con (Freire Villacís , 2012), menciona que:

“Son las pérdidas eléctricas producidas por la ionización del aire debido al alto voltaje a la cual está sometido el conductor.” Con respecto a la Unidad de Negocio Bolívar el efecto corona en las LST no son eventuales.

**Efecto joule**

Se conoce como efecto Joule al fenómeno irreversible por el cual si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo.

**Corrientes parasitas e histéresis.**

Las corrientes parasitas se producen cuando un conductor atraviesa un campo magnético variable, o viceversa. El movimiento relativo causa una circulación de electrones, o corriente inducida dentro del conductor.

Debido a las características de nuestro sistema específicamente por el nivel de voltaje, el efecto corona no es una causal que tenga total incidencia el valor de las pérdidas, no obstante las pérdidas producidas por el efecto joule en los conductores y pérdidas por corrientes parasitas e histéresis provocadas en los núcleos de los transformadores, afectan categóricamente al incremento de los indicadores de pérdidas técnicas.

**Pérdidas no técnicas**

Generalmente las pérdidas no técnicas son el resultado de la diferencia entre el cómputo total de las pérdidas y las pérdidas técnicas del sistema. Las causas de las pérdidas negras habitualmente están ligadas con los siguientes factores:

- Usuarios sin medidor

- Acometidas directas
- Cargas antes del medidor
- Error en la toma de lecturas
- Error en los procesos de facturación

Entre otros, los factores antes mencionados están vinculados con varios sub - factores que inciden directamente en ellos, los niveles de pobreza por grupos de usuarios, el tiempo que tarda la instalación de un medidor, el tipo de construcción de la red como facilidad de conexiones ilegales, errores en la aplicación de las tarifas, etc., provocan que los indicadores de pérdidas no técnicas se eleven.

### **Aspectos de Calidad**

De acuerdo con (CONELEC, 2014), menciona que:

“La calidad del servicio se medirá considerando los aspectos siguientes”

#### **Calidad de Producto**

- Nivel de Voltaje
- Perturbaciones de Voltaje
- Factor de potencia

#### **Calidad de Servicio Técnico**

- Frecuencia de Interrupciones
- Duración de Interrupciones

#### **Calidad del Servicio Comercial**

- Atención de Solicitudes
- Atención de Reclamos
- Errores en Medición y Facturación

#### **Plan de reducción de pérdidas (PLANREP)**

De acuerdo con él (MEER, 2016), menciona que:

“El PLANREP es un conjunto de proyectos que permiten reducir las pérdidas de carácter técnico y comercial, que se ejecutan en todas las empresas eléctricas de distribución del país, tiene el objetivo disminuir las pérdidas de energía en los sistemas de distribución, a niveles técnicamente aceptables”

**Figura N° 6** Fundamentos del Plan REP



Fuente: MEER

### **Metodología para la determinación de las pérdidas técnicas a nivel de primario**

Debido a la distancia de recorrido que generalmente tienen los alimentadores primarios, y por ende la elevada cantidad de información que se puede obtener de ellos hace que los estudios de pérdidas presenten un grado de complejidad, es así que existen varias metodologías de cálculo que permiten determinar los porcentajes de pérdidas, los resultados de cada metodología dependerán básicamente en la cantidad, tipo y veracidad de la información que se disponga.

De acuerdo con (IpiALES Angamarca, 2005) menciona que:

“Se tiene al menos tres métodos que permiten obtener los indicadores de las pérdidas técnicas, a continuación se detallan:

- Flujo de potencia
- Estimación de estado
- Correlación de circuitos o sistemas similares”

- **Flujo de Potencia**

Los análisis que se realizan por medio de flujos de potencia habitualmente son los más utilizados por las empresas distribuidoras debido a la veracidad de los resultados, para el proceso se necesita contar con información básica que ayude en la obtención de valores confiables.

Por requerimientos básicos de software eléctrico CYME, se debe tener al menos los siguientes parámetros:

- Diagrama unifilar del alimentador.
- Equipamientos eléctricos conectados al alimentador (cables, transformadores).
- Lecturas de las demandas, factores de potencia y carga instalada.
- Tipos de estructuras.

- **Estimación de estado**

El estimado de estado parte de las lecturas tomadas en diferentes puntos del sistema, requiriendo evaluar la exactitud, simultaneidad, periodicidad y transmisión de datos de todos los equipos, tanto de medición como de comunicación, haciéndolos de suma importancia en el momento de entregar resultados con mayor precisión en comparación con el flujo de carga.

El estimado de estado es una función que utiliza técnicas estadísticas e interactivas, las cuales pueden informar de forma similar al flujo de carga, de momento a momento los valores de pérdidas en el sistema.

- **Correlación de circuitos similares**

Para realizar un estudio de pérdidas a través de esta metodología se necesita contar con análisis de pérdidas de un alimentador que cuente con características similares al de estudio, el cual nos permita relacionarlos entre sí, para poder estimar los resultados.

Entre otros parámetros, para utilizar esta metodología se debe considerar la simultaneidad de los siguientes factores:

- El valor de la demanda.
- Tipo o estrato de clientes representativos a los que brinda servicio.
- La distancia de recorrido.
- Condiciones de cargabilidad del equipamiento eléctrico.

Una vez planteado los tres métodos más comunes para el análisis de las pérdidas técnicas, se puede determinar las características por las cuales se diferencian entre sí, la metodología de flujo de potencia es la más adecuada para nuestro estudio esto debido a que se cuenta con la información que será útil a lo largo del proceso y por qué sus márgenes de error nos permiten estar aproximados a la realidad del alimentador.

Actualmente con el avance y evolución de los sistemas informáticos, se cuenta con un sin número de software que permiten realizar análisis de sistema eléctricos de potencia, a nivel mundial los programas y marcas CYME, Neplan, ETAP, Power World, han sido posicionados para varios proyectos entre ellos eléctricos; la Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP, invertido en la adquisición del programa Cymdist de la marca CYME, de manera que en todas las unidades de negocio se analice los sistemas con el mismo paquete informático, dando lugar a tener una información en el mismo lenguaje de programación, adicional a esto Cymdist debido a su interoperabilidad se enlaza con el software de georeferenciación GIS, lo que permite tener información actualizada para los futuros análisis

### **Alternativas para reducir las pérdidas técnicas**

Para generalizar, las diferentes soluciones para reducir las pérdidas técnicas en la red primaria son las siguientes:

- **Reconfiguración del Alimentador**

De acuerdo a (González Hidalgo , 2014), menciona que:

“La reconfiguración del alimentador consiste en realizar una serie de cambios al alimentador seleccionado...de tal manera que al volver a realizar la simulación se obtenga los parámetros normales dentro de los rangos establecidos” El alimentador Chimbo, por motivos de crecimiento de la densidad poblacional ha sufrido algunos cambios en su trazado, para extender la cobertura y mejorar las características con las que se brinda el servicio.

- **Incremento del calibre del conductor**

El efecto Joule está presente en todos los conductores, de forma inversa a la proporcionalidad del área de sección transversal de los conductores, la importancia del incremento del calibre de conductor radica que mientras que la sección del conductor sea mayor la resistencia disminuye.

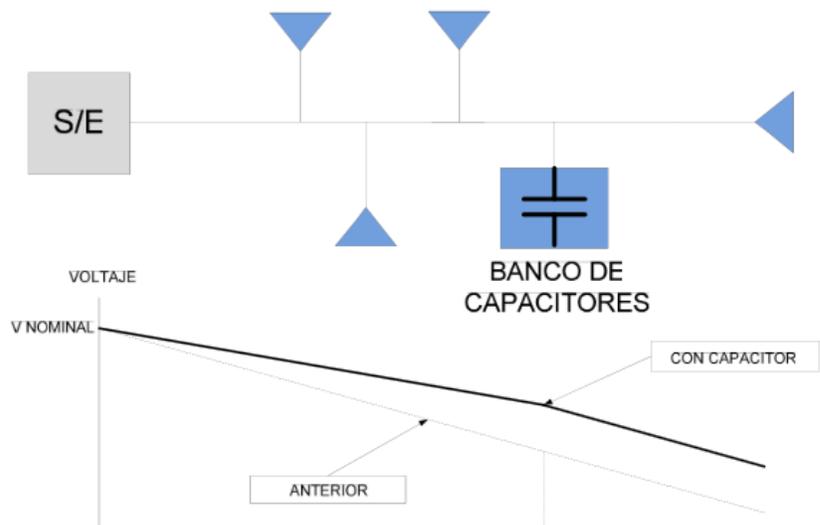
- **Instalación de condensadores**

De acuerdo a (MUYUNLEMA MASAQUIZA , 2008), menciona que:

“Las pérdidas en las líneas aéreas se incrementan mientras menor es el factor de potencia de carácter inductivo de la carga, que hace que circule mayor corriente por las redes, incrementado de esta manera las pérdidas resistivas.” En la Unidad de Negocio Bolívar, varios alimentadores cuentan con banco de condensadores, esto debido a la distancia de su recorrido y por transferencias de carga que se realizan entre alimentadores, los voltaje bajan notablemente.

En la Figura N°7 se muestra un esquema de la conexión de un capacitor y el efecto que produce en los niveles de voltaje. La injerencia de un banco de capacitores en la red eléctrica permite reducir la corriente por medio de la inyección de reactivos, mejorando de esta manera el perfil de voltaje y mejorar el transporte de energía en la red hacia los centros de consumo.

**Figura N° 7** Esquemático de conexión de capacitores



**Fuente:** (MUYUNLEMA MASAQUIZA , 2008)

Como consecuencia de tener un banco de capacitores conectado a la red, se reduce las pérdidas, se mejora el nivel de voltaje y por ende se libera una cierta capacidad de potencia del sistema

- **Incremento del número de fases**

El incremento de fases mucha de las veces suele ser una alternativa para reducir el nivel de pérdidas en una red eléctrica, ya que en varios sectores se cuenta con ramales o derivaciones monofásicas a nivel de 7.9 kV; la corriente del sistema con respecto a la fase y al retorno por el

neutro es dependiente de la carga de tal manera que si se aumenta el número de conductores esta carga se repartirá uniformemente entre las tres fases y la corriente se reducirá a un tercio de cuando el sistema era monofásico

- **Equilibrio de cargas**

Como parte de la operación y mantenimiento de los alimentadores en general se debe considerar el balance de fases, debido que operar un sistema con las fases simétricas conlleva a tener menos pérdidas, el porcentaje de desequilibrio entre fases se determina a través de la ecuación.

$$\%D = \frac{Cf - Cfp}{Cfp}$$

**Dónde:**

%D: Porcentaje de desequilibrio entre fases

$Cf$ : Carga de fase [kW]

$Cfp$ : Carga de fase promedio [kW]

Los datos que se requieren para la determinación del desequilibrio resultan de las mediciones realizadas ya sean a nivel de cabecera de alimentado a través del sistema de control de la Unidad de Negocio o por medio de mediciones diarias con analizadores de red en determinados ramales o puntos en estudio.

## 9. HIPÓTESIS

Si determinamos los factores que provocan pérdidas en el alimentador Guaranda - Chimbo a nivel del circuito primario de medio voltaje, entonces podremos recomendar medidas correctivas que contribuyan a la disminución de los índices de las pérdidas técnicas.

## 10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Los programas informáticos de análisis eléctricos en la actualidad son una herramienta indispensable para el análisis de sistemas de potencia en estado estable, con la utilización del método de (EATON, 2016)

“Los flujos de potencia como metodología que permitirá la determinación de las pérdidas técnicas, y las posibles soluciones serán analizados y comparados a través del Software de análisis de sistemas de distribución CYMDIST que permite realizar varios tipos de estudios en sistemas equilibrados o desequilibrados, monofásicos, bifásicos o trifásicos, con configuración radial, en anillo o mallada. El programa CYMDIST incluye un editor completo de redes y las funciones siguientes:

- Flujo de potencia desbalanceado
- Análisis exhaustivo de fallas
- Balance de cargas
- Distribución y evaluación de cargas
- Ubicación óptima de condensadores

El programa de análisis de redes de distribución CYMDIST es una serie de aplicaciones que consta de un editor de red, de módulos de análisis y de bibliotecas de modelos personalizables desde las cuales el usuario puede obtener la solución más eficiente.

El programa fue diseñado para realizar estudios de planeamiento y simular el comportamiento de las redes de distribución en distintas condiciones de funcionamiento y distintos escenarios. Incluye varias funciones incorporadas necesarias para el planeamiento, la explotación y el análisis de las redes de distribución.

El espacio de trabajo del programa es totalmente personalizable. La representación gráfica de los componentes de la red, los resultados y los reportes puede crearse y modificarse con el fin de satisfacer el nivel de detalle requerido. Los algoritmos de CYMDIST, su flexible interfaz de usuario y sus amplias bibliotecas se basan en tecnologías innovadoras de ingeniería y en las prácticas y normas de la industria.

Las funciones de análisis de flujo de carga, cortocircuito y optimización de la configuración eléctrica pueden ejecutarse en sistemas de distribución equilibrados o desequilibrados, con diferentes combinaciones de fases y configuraciones.

### **Características y capacidades**

- Flujo de carga y caída de tensión
- Cálculo de cortocircuito
- Dimensionamiento y ubicación óptima de condensadores
- Balance, distribución y evaluación de cargas
- Análisis en régimen permanente con perfiles de carga
- Análisis armónico
- Optimización de la configuración de las redes eléctricas
- Administrador avanzado de proyectos y Planificador de redes
- Modelación de la generación distribuida
- Análisis dinámico a largo plazo
- Optimización Volt - VAR
- Análisis de confiabilidad (Predictiva e histórica)
- Ubicación óptima de reguladores de tensión
- Ubicación óptima de reconectores
- Análisis de contingencias simples con restablecimiento
- Modelación de subestaciones y de subredes
- Análisis de redes secundarias malladas
- Modelado de redes de distribución de baja tensión
- Evaluación de riesgos por relámpago de arco
- Verificación de la coordinación de los dispositivos de protección
- Análisis de protección contra fallas mínimas”

### **Técnicas y Herramientas**

Para obtener resultados confiables en la estimación de pérdidas técnicas por medio de flujos de potencia es necesario tener información necesaria para el efecto; es importante contar con las características técnicas del sistema y las características de la carga, a continuación detallamos los indicadores que necesitaremos para el desarrollo del trabajo.

### **Características del Sistema Eléctrico.**

Es necesario contar con las características del alimentador Chimbo para su modelación con la utilización del paquete informático Cymdist, lo cual permite realizar el flujo de potencia y determinar los parámetros eléctricos del sistema, para dicha modelación se necesita lo siguiente:

- Diagrama Unifilar
- Tipo y características de los conductores
- Ubicación de los transformadores
- Topología de los circuitos
- Configuración de los circuitos
- Fases por circuito
- Longitud de los conductores

### **Características de la Carga**

- Factor de Potencia a nivel de barra del alimentador
- Demanda horaria

### **Metodología**

Para el desarrollo del presente trabajo, es necesario contar con información lo más exacta y actualizada, debido a que los resultados dependerán de la misma, en ese sentido la actualización de la base de datos es de vital importancia, para ello se realizara tareas de levantamiento de información, principalmente nos enfocaremos en las capacidades de los transformadores, el calibre de los conductores, y mediante la base de datos del ArcGIS se podrá contar con los valores de las cargas conectadas a cada transformador y por ende la carga total del alimentador.

Para la realización del proyecto se parte de una base teórica que servirá como fundamento, para el proceso del análisis que permite la determinación de las pérdidas técnicas y está fundamentado en la información contenida en tesis, libros, proyectos y publicaciones que han sido publicados sobre la temática tratada.

## **11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **Análisis del estado actual del sistema**

La Corporación Nacional de Electricidad - Unidad de Negocio Bolívar, cuenta con 6 subestaciones de distribución con voltaje operativo de 69kV/13.8kV que son: Guaranda,

Guanujo, Cochabamba, Sicoto, Caluma y Echeandia, actualmente se cuenta con una sola fuente de alimentación que proviene de la Subestación Riobamba propiedad de Transelectric; la Subestación Guaranda es un punto neurálgico en el sistema de subtransmisión de la provincia Bolívar debido a que en la subestación en mención se tiene las posiciones de línea tanto para la llegada de la línea de Riobamba como para la salida hacia las demás subestaciones. En el Anexo 1 se muestra de manera detallada el diagrama eléctrico unifilar del sistema eléctrico de subtransmisión de la Unidad de Negocio Bolívar, adicionalmente en el diagrama se puede observar los alimentadores que están vinculados a cada subestación y los puntos frontera en donde se realiza las transferencias de carga.

**Figura N° 8** Troncal primaria alimentador Chimbo



**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

Desde la Subestación Guaranda parte el alimentador Guaranda - Chimbo que brinda servicio aproximadamente a 4696 usuarios, el alimentador Chimbo tiene un predominio del 87% de la categoría residencial, los clientes del programa PEC pertenecen de igual manera a la categoría residencial pero debido al subsidio del que se benefician están categorizados de diferente

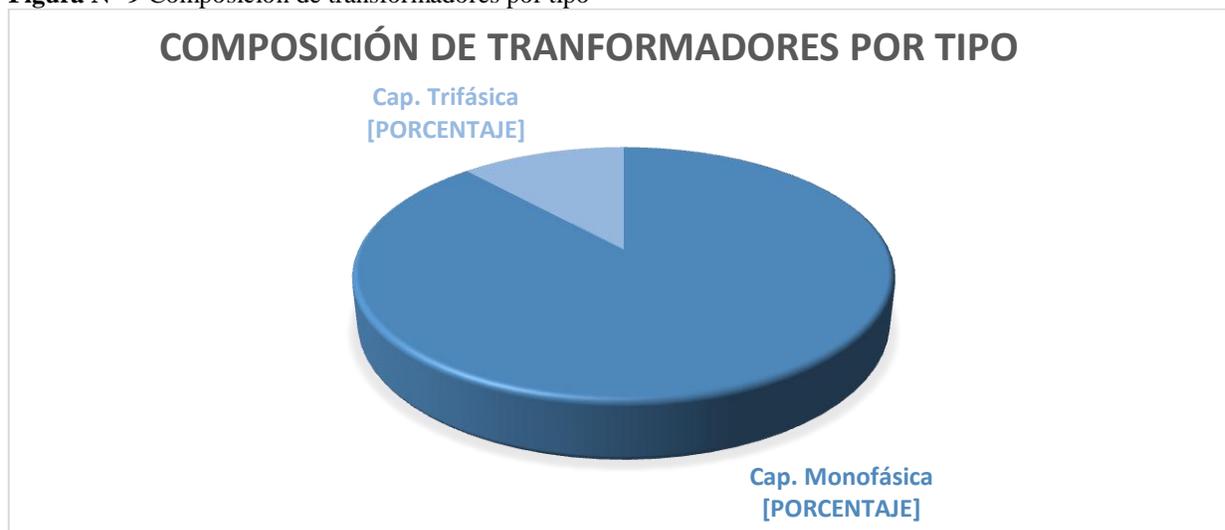
manera. Debido a sus años de operación esta red presenta varios problemas tanto técnicos como administrativos, para el caso específico se lo analiza a la red haciendo un enfoque a la reducción de pérdidas técnicas. En la Figura N°8 se muestra el alimentador Chimbo, en donde se indica los sectores a los que brinda servicio eléctrico, el área de cobertura de esta red tiene un predominio rural. Con lo que respecta a la etapa de transformación, el alimentador objetivo cuenta con un total de 422 transformadores de distribución, teniendo así una capacidad instalada de 5713 kVA, en la Tabla N°3 se muestra de una manera resumida la cantidad de transformadores, clasificados por tipo y con su respectiva capacidad nominal.

**Tabla N° 3** Clasificación de los transformadores por capacidades

| TIPO         | Capacidad kVA | Total      | Cap Instalada kVA | Porcentaje     |
|--------------|---------------|------------|-------------------|----------------|
| MONOFÁSICOS  | 25            | 58         | 1450              | 13,74%         |
|              | 37,5          | 12         | 450               | 2,84%          |
|              | 15            | 54         | 810               | 12,80%         |
|              | 50            | 6          | 300               | 1,42%          |
|              | 10            | 126        | 1260              | 29,86%         |
|              | 5             | 120        | 600               | 28,44%         |
|              | 75            | 1          | 75                | 0,24%          |
|              | 3             | 31         | 93                | 7,35%          |
| TRIFÁSICOS   | 30            | 5          | 150               | 1,18%          |
|              | 100           | 0          | 0                 | 0,00%          |
|              | 35            | 1          | 35                | 0,24%          |
|              | 45            | 2          | 90                | 0,47%          |
|              | 50            | 2          | 100               | 0,47%          |
|              | 75            | 4          | 300               | 0,95%          |
| <b>TOTAL</b> |               | <b>422</b> | <b>5713</b>       | <b>100,00%</b> |

**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

En la Figura N°4 se muestra de manera porcentual la incidencia por tipo de transformador, observando un predominio de la capacidad instalada de tipo monofásico

**Figura N° 9** Composición de transformadores por tipo

**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

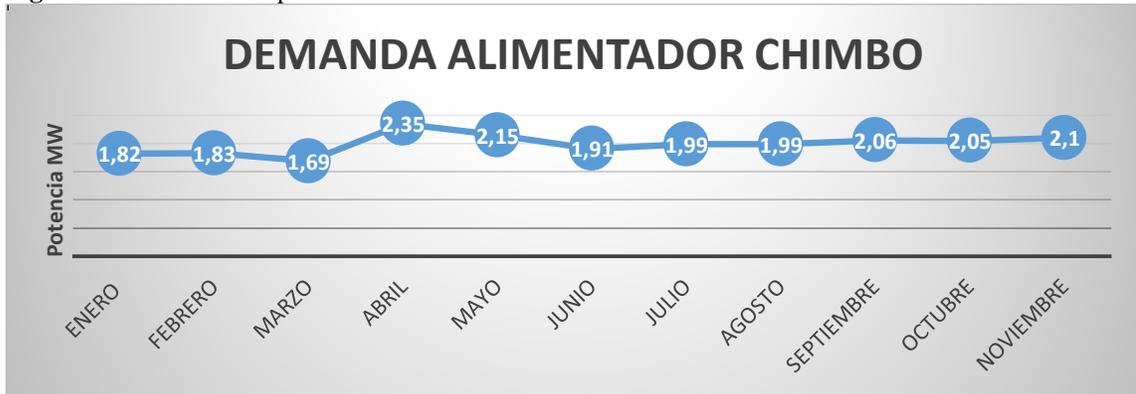
En la Tabla N° 4 se indica que la un histórico de la demanda del alimentador Chimbo para el año 2016, en donde la demanda promedio se establece en 1,99 MW, la demanda máxima registrada corresponde al mes de abril con 2.35 MW.

**Tabla N° 4** Demanda alimentador Chimbo

| <b>DEMANDA ALIMENTADOR CHIMBO PERIODO 2016</b> |             |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |
|------------------------------------------------|-------------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|
| <b>Demanda MW</b>                              | Enero       | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre |
|                                                | 1,82        | 1,83    | 1,69  | 2,35  | 2,15 | 1,91  | 1,99  | 1,99   | 2,06       | 2,05    | 2,1       |
| <b>Demanda maxima MW</b>                       | <b>2,35</b> |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |
| <b>Demanda minima MW</b>                       | <b>1,69</b> |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |
| <b>Demanda media MW</b>                        | <b>1,99</b> |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |

**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

En la Figura N°10 se observa la curva de demanda de la red en estudio, con mediciones desde el mes de enero hasta noviembre del 2015 en donde se identifica que la demanda del alimentador se ha mantenido constante en los últimos 6 meses.

**Figura N° 10** Demandas periodo móvil alimentador Chimbo

Fuente: Cnel EP-Bolívar

La calidad de servicio técnico de una red eléctrica o de una empresa de distribución principalmente es evaluada en base a la frecuencia de interrupciones y al tiempo en que duran las interrupciones como la Regulación CONELEC 004/001 así lo menciona, en la Tabla N° 5 se muestra las interrupciones que se han producido en el año 2016 en el alimentador Chimbo, con un total de 93 interrupciones y 351 horas de suspensión en el servicio.

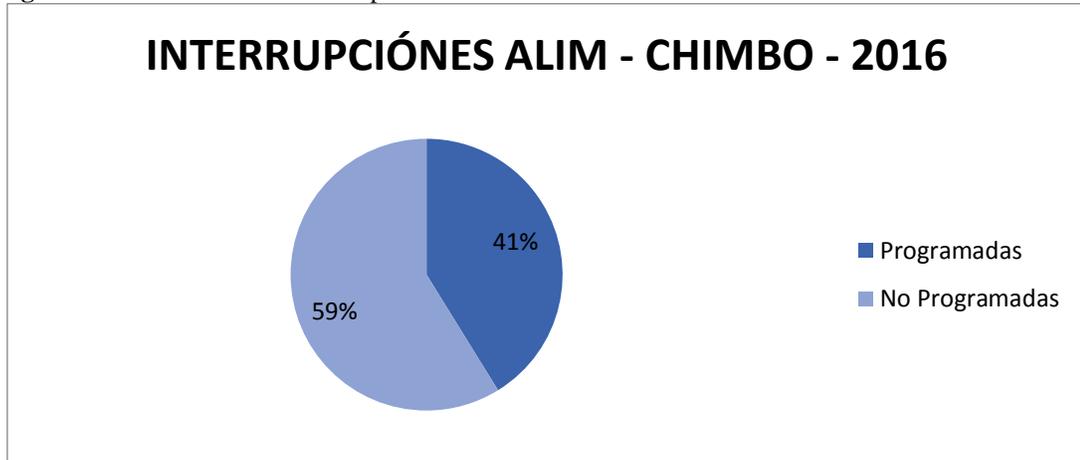
**Tabla N° 5** Interrupciones año 2016

| INTERRUPCIONES DE SERVICIO AÑO 2016 |                 |             |               |                |               |              |               |
|-------------------------------------|-----------------|-------------|---------------|----------------|---------------|--------------|---------------|
| ALIMENTADOR                         | SECTOR          | PROGRAMADAS | HORAS         | NO PROGRAMADAS | HORAS         | N° VECES     | TOTAL HORAS   |
| Chimbo                              | Capito          |             |               | 1              | 0,17          | 1            | 0,17          |
|                                     | San Sebastian   | 3           | 12,98         |                |               | 3            | 12,98         |
|                                     | Santa Fe        | 7           | 31,78         |                |               | 7            | 31,78         |
|                                     | Chagcha         | 3           | 5,28          | 2,00           | 14,43         | 5            | 19,72         |
|                                     | Chibuco         |             |               | 1,00           | 0,17          | 1            | 0,17          |
|                                     | El Avion Chimbo | 4           | 6,90          | 3              | 5,88          | 7            | 12,78         |
|                                     | El Guabo        | 1           | 7,27          |                |               | 1            | 7,27          |
|                                     | El Tejar        | 1           | 1,75          |                |               | 1            | 1,75          |
|                                     | El Tuso         |             |               | 1,00           | 1,13          | 1            | 1,13          |
|                                     | Puyaguata       | 1           | 1,67          | 2,00           | 15,73         | 3            | 17,40         |
|                                     | San Lorenzo     | 4           | 11,15         | 4,00           | 26,98         | 8            | 38,13         |
|                                     | San Simón       | 4           | 9,43          | 3,00           | 16,17         | 7            | 25,60         |
|                                     | Santiago        | 5           | 17,57         | 4,00           | 23,93         | 9            | 41,50         |
|                                     | Cebadapamaba    | 1           | 0,17          | 2,00           | 2,72          | 3            | 2,88          |
|                                     | Tamban          | 1           | 0,27          |                |               | 1            | 0,27          |
|                                     | Marcopamba      | 2           | 7,67          | 1,00           | 2,33          | 3            | 10,00         |
|                                     | Ungubi          | 1           | 7,17          | 4,00           | 55,55         | 5            | 62,72         |
|                                     | Ushulahua       |             |               | 1,00           | 11,18         | 1            | 11,18         |
|                                     | Villanueva      | 2           | 3,48          |                |               | 2            | 3,48          |
| Laguacoto Alto                      | 1               | 3,05        | 3,00          | 2,55           | 4             | 5,60         |               |
| Llacan Alto                         | 1               | 3,25        | 1,00          | 4,00           | 2             | 7,25         |               |
| <b>TOTAL</b>                        |                 | <b>49</b>   | <b>144,76</b> | <b>44,00</b>   | <b>206,68</b> | <b>93,00</b> | <b>351,44</b> |

Fuente: Cnel EP-Bolívar

De acuerdo con el resumen de la Tabla N° 5 se puede determinar que las interrupciones no programadas tienen una incidencia del 59% en el total horas que se ha suspendido el servicio frente al 41% de las interrupciones programadas, en la Figura N° 11 se observa la incidencia por tipo de interrupciones.

**Figura N° 11** Incidencia de interrupciones



**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

En la Tabla 4 se muestra un resumen de interrupciones donde se indica el tipo de interrupción y el porcentaje de incidencia en referencia al sistema de distribución de la Unidad de Negocio, adicional se menciona el porcentaje por subestación.

El alimentador Chimbo de la subestación Guaranda, tiene un 7.22% de interrupciones generales en base a los 24 alimentadores que brindan servicio a la provincia Bolívar; varios factores inciden en el porcentaje indicado tales como:

- Trazado del alimentador
- Años de operación
- Calibración de Protecciones
- Vegetación
- Terceros

**Tabla N° 6** Interrupciones año 2016 Cnel EP Bolívar

| RESUMEN DE INTERRUPCIONES |                    |              |        |                |        |       |        | % INTERR-ALIM | % INTERR-S/E |
|---------------------------|--------------------|--------------|--------|----------------|--------|-------|--------|---------------|--------------|
| S/E                       | ALIMENTADOR        | PRROGRAMADAS |        | NO PROGRAMADAS |        | TOTAL |        |               |              |
|                           |                    | VECES        | TIEMPO | VECES          | TIEMPO | VECES | TIEMPO |               |              |
| GUARANDA                  | Vinchoa            | 24,00        | 66,18  | 12,00          | 53,47  | 36,00 | 119,65 | 2,48%         | 18,44%       |
|                           | 1ro de Mayo        | 34,00        | 107,65 | 18,00          | 28,91  | 52,00 | 136,56 | 2,83%         |              |
|                           | Maldonado          | 60,00        | 191,60 | 28,00          | 90,87  | 88,00 | 282,46 | 5,85%         |              |
|                           | Chimbo             | 49,00        | 144,76 | 44,00          | 206,68 | 93,00 | 351,44 | 7,28%         |              |
| GUANUJO                   | Cuatro Esquinas    | 15,00        | 30,50  | 28,00          | 110,97 | 43,00 | 141,47 | 2,93%         | 15,01%       |
|                           | Guanujo Centro     | 33,00        | 78,50  | 19,00          | 22,53  | 52,00 | 101,03 | 2,09%         |              |
|                           | La Cena            | 12,00        | 29,10  | 18,00          | 80,37  | 30,00 | 109,47 | 2,27%         |              |
|                           | Salinas            | 11,00        | 44,42  | 4,00           | 18,30  | 14,00 | 62,02  | 1,28%         |              |
|                           | Simiatug           | 20,00        | 79,60  | 34,00          | 235,84 | 51,00 | 310,64 | 6,44%         |              |
| CALUMA                    | Caluma Centro      | 8,00         | 15,58  | 29,00          | 148,80 | 37,00 | 164,38 | 3,41%         | 18,69%       |
|                           | Echeandía          | 13,00        | 41,05  | 10,00          | 241,30 | 15,00 | 117,97 | 2,44%         |              |
|                           | Pasagua            | 4,00         | 12,07  | 24,00          | 302,11 | 44,92 | 314,17 | 6,51%         |              |
|                           | Pita               | 17,00        | 54,60  | 31,00          | 533,62 | 35,00 | 305,87 | 6,34%         |              |
| COCHABAMBA                | Balsapamba         | 33,00        | 98,85  | 37,00          | 169,63 | 70,00 | 268,48 | 5,56%         | 6,21%        |
|                           | San Miguel         | 8,00         | 9,03   | 11,00          | 17,28  | 19,00 | 26,32  | 0,55%         |              |
|                           | Telimbela          | 0,00         | 0,00   | 1,00           | 4,83   | 1,00  | 4,83   | 0,10%         |              |
| ECHEANDÍA                 | Camarón            | 1,00         | 0,48   | 6,00           | 61,12  | 7,00  | 61,60  | 1,28%         | 21,93%       |
|                           | Echeandía Centro   | 12,00        | 24,68  | 57,00          | 394,69 | 69,00 | 419,37 | 8,69%         |              |
|                           | Las Naves          | 18,00        | 34,25  | 45,00          | 245,00 | 63,00 | 279,25 | 5,78%         |              |
|                           | Sabanetillas       | 3,00         | 3,77   | 28,00          | 294,53 | 31,00 | 298,30 | 6,18%         |              |
| SICOTO                    | Chillanes          | 10,00        | 31,28  | 39,00          | 261,92 | 40,00 | 230,27 | 4,77%         | 19,72%       |
|                           | San José del Tambo | 13,00        | 53,12  | 50,00          | 321,87 | 63,00 | 374,98 | 7,77%         |              |
|                           | San Pablo          | 11,00        | 29,00  | 38,00          | 317,70 | 49,00 | 346,70 | 7,18%         |              |

Fuente: Cnel EP-Bolívar

### Identificación de secuencia de fases

El alimentador Chimbo parte de la barra principal de 13.8 kV de la llegada del transformador de potencia, por canales soterrados hasta las afueras de la Subestación Guaranda en donde cambia su construcción a forma aérea, pudiendo identificar que la secuencia de fases es B, C y A. la identificación de fases es muy importante principalmente para poder realizar transferencias de carga como parte de operación del sistema y para realizar balances de carga entre fases.

Principalmente los problemas críticos que presenta el alimentador en estudio se originan debido a que el calibre de los conductores no es el adecuado y el crecimiento de la demanda eléctrica varios sectores específicamente en los extremos de la red, no han sido acorde con la planificación realizada por la Unidad de Negocio.

La desatinada instalación de acometidas residenciales, comerciales e industriales artesanales, sin previo análisis del departamento encargado de sistemas de georeferenciación y análisis eléctricos, ha causado el desbalance del alimentador; es necesario indicar que las pérdidas en la red Chimbo, mayoritariamente se presentan por fase, debido al desbalance es provocado por lo anteriormente

mencionado. Por tal motivo la Gerencia Técnica de la CNEL EP, ha visto adecuado la emisión e implementación de Lineamientos Técnicos como forma de homologación para construcción, mantenimiento y repotenciación de Líneas de Sub transmisión, Subestaciones, Redes de Distribución y Alumbrado Público, mismo que se ejecuta en las 11 Unidades de Negocio.

### **Lineamientos para diseño y construcción de Alimentadores Primarios**

Para el estudio en mención se tomara en cuenta los Lineamientos para diseño y construcción de Alimentadores Primarios, en donde se menciona lo siguiente:

El nivel de voltaje homologado para alimentadores primarios en media tensión es 13.8 kV; exclusivamente para la Zona Norte de Manabí se considerará 34.5 kV.

Todas las troncales principales se diseñarán y construirán con conductor de calibre mínimo # 4/0; los ramales mínimo # 1/0 y para subramales mínimo # 2. Podrán hacerse excepciones según sea el caso, para demandas que requieran un calibre de mayor capacidad, siempre que la subestación tenga la capacidad suficiente.

Para el diseño y construcción de alimentadores primarios se propenderá a dar continuidad al calibre del conductor desde el punto de enlace.

Cada alimentador deberá dimensionarse para una carga definida considerando una reserva del 40% para transferencias de carga y manteniendo en uso como máximo el 60% de la capacidad de corriente del conductor.

### **Análisis mediante flujos de potencia**

El programa de análisis eléctrico Cymdist, entre sus opciones para realizar estudios cuenta con el módulo de flujo de carga, esta opción nos permite correr flujos de potencia para determinar si los tramos del alimentador están unidos eléctricamente, si las cargas concentradas están conectadas a los transformadores y por ultimo verifica errores por medio de un número determinado de convergencias.

### **Información necesaria para el análisis del alimentador.**

Una vez que se verifica que la base de datos consta con toda la información y parámetros de los elementos constitutivos del sistema, se procede a realizar el ingreso de los valores de la demanda del alimentador que ha sido registrada por los medidores industriales ION 8600, el valor de la demanda con el factor de potencia, es ingresado en la cabecera del alimentador. En el alimentador

Chimbo el factor de potencia es óptimo y estable debido al tipo de clientes que se encuentran conectados. En la Figura 11 se muestra una captura de pantalla en donde se configura las propiedades de la red, principalmente el ingreso de los valores de la demanda y el factor de potencia, adicional esta configuración permite revisar la capacidad instalada que tiene el alimentador en estudio. La veracidad de la información en referencia a los valores de la demanda es de vital importancia ya que de esta configuración e ingreso de valores dependen los resultados que arroje el software luego de los distintos análisis que se realice.

**Figura N° 12** Propiedades de la red (parametrización)

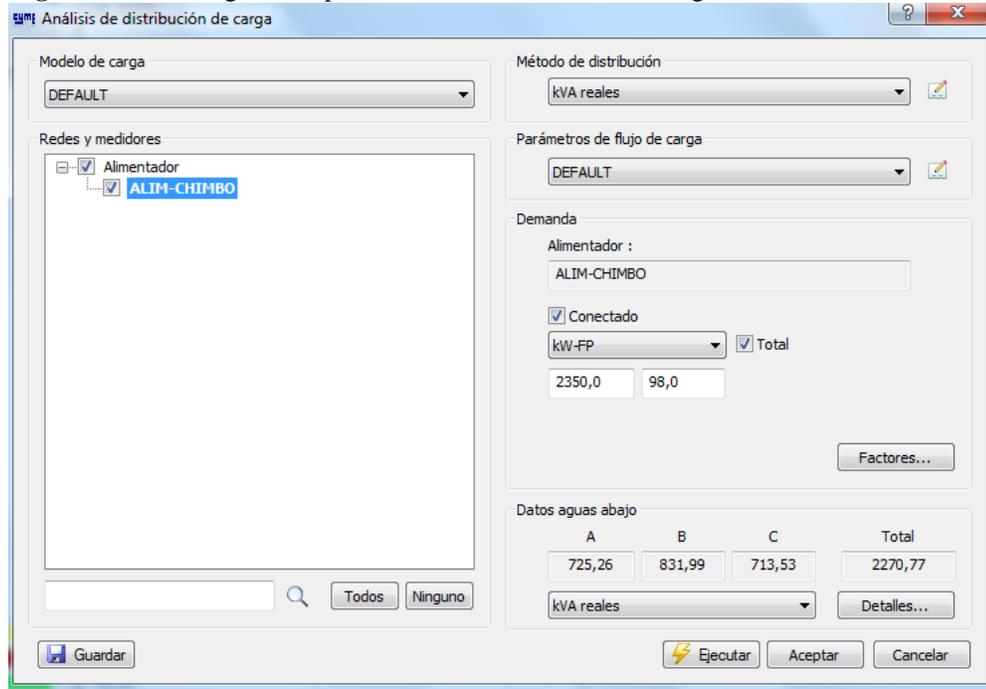
Fuente: Cnel EP-Bolívar

### Distribución de Carga

La distribución de carga es una característica del Cymdist, en donde el software asigna un determinado valor de demanda a cada fase en función de los kVA que se encuentre conectados al alimentador, de tal manera que la distribución de la demanda será lo más apegada a la situación real de la red. En la Figura N°13 se muestra las características del análisis de distribución de carga, se realiza con la demanda máxima registrada, con el método de kVA reales, en la parte

inferior se muestran los valores de potencia que se han asignado a cada fase para realizar el flujo de potencia y reasignar porciones de potencia por cada kVA instalado.

**Figura N° 13** Configuración para análisis de distribución de carga



**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

En el **Anexo 2** se indica la repartición de carga a kVA real conectado.

Luego de la distribución de carga se realiza un flujo de potencia en el alimentador, en la Figura N° 15 se puede observar que en las fronteras del alimentador se resalta con color rojo, siendo un indicativo de un nivel bajo de voltaje y el color amarillo indica una sobrecarga en el alimentador como se indica en la Figura N° 16.

Es necesario indicar que los niveles de variaciones de voltaje vienen establecidos de acuerdo a la regulación CONELEC 004/01, que fue emitida para la Calidad del servicio eléctrico de distribución, en la Tabla N°7 se muestra los niveles admisibles para las caídas de tensión de acuerdo al nivel de voltaje nominal y de acuerdo a la subetapa, para el caso propio del análisis tomaremos en consideración la subetapa 1, esto debido a que las subetapa 2 aun no entra en vigencia.

**Figura N° 14** Tramos con anomalías

|                                                                         |                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Sobrecarga (20)                     |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Subtensión (2748)                   |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Sobretensión (0)                    |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tensión nominal del dispositivo (0) |  |

Fuente: Cnel EP-Bolívar

**Tabla N° 7** Niveles admisibles para las caídas de tensión

|                       | Subetapa 1 | Subetapa 2 |
|-----------------------|------------|------------|
| Alto Voltaje          | ± 7,0 %    | ± 5,0 %    |
| Medio Voltaje         | ± 10,0 %   | ± 8,0 %    |
| Bajo Voltaje. Urbanas | ± 10,0 %   | ± 8,0 %    |
| Bajo Voltaje. Rurales | ± 13,0 %   | ± 10,0 %   |

Fuente: Regulación CONELEC 004/01

**Figura N° 15** Alimentador Chimbo con subtensión

Fuente: Cnel EP-Bolívar

**Figura N° 16** Alimentador Chimbo con sobrecarga



Fuente: Cnel EP-Bolívar

En la Tabla N° 8 se muestra un reporte luego de haber corrido un flujo de potencia, en donde se observa las pérdidas que presenta el alimentador, es necesario indicar que las pérdidas son instantáneas, y que al trasladarles a kWh y evaluadas por el costo del kWh en dólares en la etapa de distribución, representa una pérdida importante para la Unidad de Negocio

**Tabla N° 8** Resumen de pérdidas en el Alimentador Chimbo

| Nombre de la Red | Carga Total |      | Perdidas totales |
|------------------|-------------|------|------------------|
|                  | kVA         | Fp   | kW               |
| Alim-Chimbo      | 2070        | 0,98 | 312              |

Fuente: Cnel EP-Bolívar

Para tener un criterio más amplio y que nos permita conocer los puntos críticos por etapa funcional a nivel de alimentador, en la Tabla N° 9 mostramos un reporte detallado en donde se muestra las por etapas el valor de pérdidas, observando un porcentaje mayoritario de pérdidas en las líneas, seguido de las pérdidas en transformadores con carga y pérdidas en vacío de estos equipos que están conectados a nivel de voltaje primario.

**Tabla N° 9** Resumen detallado de las pérdidas por etapa en el alimentado chimbo

| <b>Resumen Detallado Alim-Chimbo</b>     |           |            |           |
|------------------------------------------|-----------|------------|-----------|
|                                          | <b>kW</b> | <b>kVA</b> | <b>Fp</b> |
| <b>Fuente</b>                            | 2070      | 2101       | 0,98      |
| <b>Resumen de pérdidas</b>               |           |            |           |
| <b>Pérdidas en Líneas kW</b>             | 257       |            |           |
| <b>Perddas tranformador kW</b>           | 32        |            |           |
| <b>Perdidas en vacio tranformador kW</b> | 22        |            |           |
| <b>Total</b>                             | 311       |            |           |

**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

Por medio del flujo de carga podemos obtener como reportes las condiciones anormales en las que está operando el alimentador, principalmente con los peores casos de subtensión, sobretensión y sobrecarga.

Cabe mencionar que todos los problemas presentados son debido a sobrecargas en el alimentador lo que conlleva a tener niveles de voltaje por debajo de los admisibles de acuerdo a la regulación, debido a estos factores señalados el alimentador no arroja voltajes elevados, como fundamento mencionamos que a cuando un sistema de eléctrico de distribución a cualquier nivel de voltaje presenta una alta cargabilidad los índices de voltaje tiende a caer. En la Tabla N°10 se muestra un reporte de los puntos críticos del alimentador Chimbo, lo que permite identificar los sectores con debilidades técnicas.

**Tabla N° 10** Puntos Críticos de Voltaje

| <b>Condiciones anormales</b> | <b>Fase</b> | <b>Nombre del tramo</b> | <b>Valor</b> |
|------------------------------|-------------|-------------------------|--------------|
| <b>Sobrecarga</b>            | A           | I31069_MTA              | 150%         |
|                              | B           | I39700_MTA              | 131%         |
|                              | C           | 37306_MTA               | 118%         |
| <b>Subtension</b>            | A           | IMTA_L47923             | 81%          |
|                              | B           | IMTA_L53641             | 94%          |
|                              | C           | IMTA_L37306             | 89%          |
| <b>Sobretension</b>          | A           | 123419_MTA              | 100%         |
|                              | B           | MTA_S_48091             | 100,71%      |
|                              | C           | 123419_MTA              | 100%         |

**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

En la Tabla N°11, se indica de manera detallada los tramos que presentan condiciones críticas de operación, se muestra la cargabilidad, el ángulo de desfase y la corriente de equilibrio.

**Tabla N° 11** Reporte de tramos en condiciones criticas

| Nro. equipo | Nudo origen  | Nudo destino  | IEquil | Desfase | Carga |
|-------------|--------------|---------------|--------|---------|-------|
|             |              |               | (A)    | I(%)    | (%)   |
| I19452_MTA  | MTA_L_19452  | IMTA_L_19452  | 182,7  | -5,83   | 130,5 |
| I113176_MTA | MTA_L_113176 | IMTA_L_113176 | 243,6  | -5,85   | 132,4 |
| I29136_MTA  | MTA_L_29136  | IMTA_L_29136  | 246,7  | -6,84   | 176,2 |
| I31693_MTA  | MTA_L_31693  | IMTA_L_31693  | 186    | -7,3    | 101,1 |
| I32966_MTA  | MTA_L_32966  | IMTA_L_32966  | 188,5  | -8,35   | 102,5 |
| I112532_MTA | MTA_L_112532 | IMTA_L_112532 | 197,5  | -11,72  | 107,3 |
| I39684_MTA  | MTA_L_39684  | IMTA_L_39684  | 202,7  | -13,21  | 144,8 |
| I39700_MTA  | MTA_L_39700  | IMTA_L_39700  | 241,8  | -7,35   | 131,4 |
| I37306_MTA  | MTA_L_37306  | IMTA_L_37306  | 198,6  | -12,44  | 141,8 |
| I47900_MTA  | MTA_L_47900  | IMTA_L_47900  | 288,3  | -17,94  | 156,7 |
| I47781_MTA  | MTA_L_47781  | IMTA_L_47781  | 211    | -16,57  | 114,7 |
| I97325_MTA  | MTA_L_97325  | IMTA_L_97325  | 276,2  | -15,51  | 197,3 |
| I33_MTS     | MTS_L_33     | IMTS_L_33     | 207,4  | -15,58  | 207,4 |
| I31069_MTA  | MTA_L_31069  | IMTA_L_31069  | 414,9  | -15,57  | 296,3 |
| I9718_MTA   | MTA_L_9718   | IMTA_L_9718   | 276,6  | -15,57  | 197,5 |
| I97323_MTA  | MTA_S_97323  | IMTA_S_8713   | 207,1  | -15,5   | 112,6 |
| I32659_MTA  | MTA_L_32659  | IMTA_L_32659  | 195,5  | -7,04   | 139,7 |

**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

Es necesario indicar que en la Tabla N°11, la nomenclatura que identifica a los tramos tiene el siguiente significado:

I32659\_MTA = Los numeros significa el numero del tramo, y la nomenclatura en letra significa tramo en media tension aereo.

Anteriormente se menciona que el alimentador presenta problemas de cargabilidad principalmente por fase mas no por el sistema completo, para ello es necesario mostrar un perfil de tensión en donde se puede verificar que los voltajes de fases no son simétricos debido a que la carga no es uniforme en cada fase.

En la Figura N° 17 se indica los perfiles de voltajes, donde el voltaje de la fase A es estable conforme la distancia de recorrido del alimentador es mayor, no obstante las fases B y principalmente la fase C indica que el nivel del voltaje decrece en los extremos del alimentador.

**Figura N° 17** Perfil de Voltaje



**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

Por medio de los perfiles de voltaje se obtiene una visión de la situación actual del voltaje, conforme la distancia del alimentador se incrementa el voltaje se reduce, a continuación en la Tabla N°12 se muestra los niveles mínimos admisibles de voltaje, adicional se muestra los valores de voltaje cuando el alimentador está en los 1,7 km de recorrido.

**Tabla N° 12** Análisis de perfil de voltaje

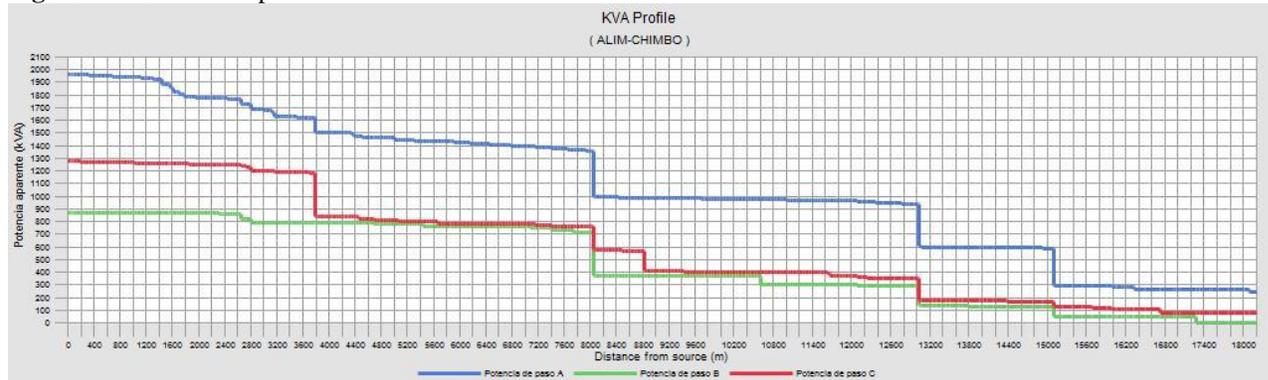
| <b>Voltaje en función de la distancia</b> |          |          |          |
|-------------------------------------------|----------|----------|----------|
|                                           | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C</b> |
| <b>Voltaje mínimo (Volt)</b>              | 111,32   | 111,32   | 111,32   |
| <b>Voltaje registrado (Volt)</b>          | 101      | 108      | 121      |

**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

Es necesario indicar que los problemas principalmente radican en la fase A y B del alimentador Chimbo, el voltaje de la fase A tiene una diferencia en el extremo del alimentador de un 9,27%, mientras que la fase B tiene una variación del 2.98%, en tanto la fase C se mantiene con el voltaje adecuado que es de 121 V, los valores porcentuales son evaluados con respecto al voltaje mínimo admisible según lo estipula la regulación 004/01 de la ARCONEL emitida para efecto.

Adicional se muestra un perfil de la potencia aparente del alimentador, en la Figura N° 18, de manera que nos permita identificar que los problemas de bajos niveles de voltaje están ligados a la carga conectada al sistema.

**Figura N° 18** Perfil de potencia



Fuente: Cnel EP-Bolívar

### Acciones para controlar y mitigar las pérdidas técnicas en le alimentador chimbo.

- **Balance de Carga**

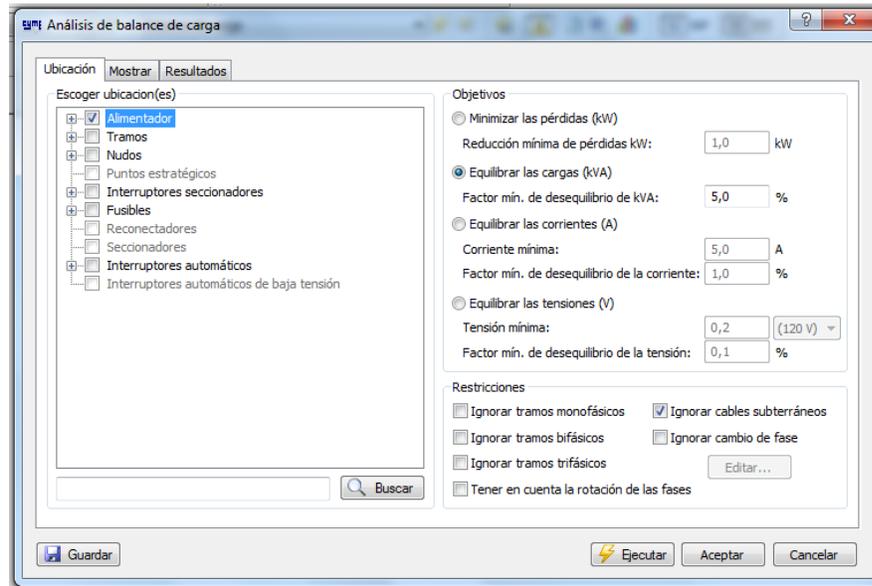
Como medida paliativa al desbalance que mantiene el alimentador, se realiza un balance de carga, una herramienta muy útil a la hora de realizar análisis para equilibrio de potencia en las fases del sistema.

En la Figura N°19, se muestra una captura de pantalla donde se muestra las facilidades y opciones que tiene el análisis por balance de carga, de acuerdo a las condiciones del alimentador podemos balancear el alimentador por el método de minimización de pérdidas, equilibrio de potencias, corrientes y voltajes.

Cymdist analiza el balance de carga y posteriormente mostrara posibles alternativas para optimizar el equilibrio de las fases, el análisis por alimentador, por tramos, por nodos eléctricos, fusibles e interruptores son factores que tienen influencia en el tiempo que se demore el análisis

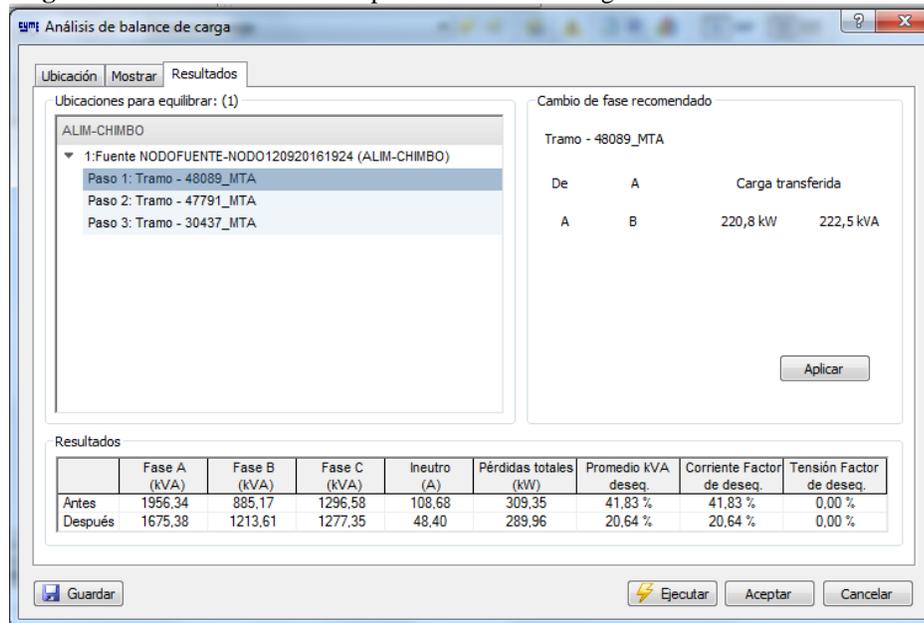
En la Unidad de Negocio Bolívar se cuenta con una base de datos que se actualiza constantemente lo que nos permite realizar este tipo de análisis enfocado a alimentador a nivel de circuito primario, a tramos y a nudos eléctricos, cada etapa nos ayuda con una balance de carga más detallado con mejores resultados a la hora de implementar las recomendaciones

**Figura N° 19** Configuración del Balance de Carga



**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

Luego de realizar un análisis de balance de carga por alimentador a nivel de sistema primario, con la utilización del software Cymdist y considerando las recomendaciones arrojadas por el programa se procede a equilibrar las fases teniendo en cuenta que cuando un alimentador tiene desbalance de cargas se tiene un incremento en las corriente que circula por neutro del sistema, y este fenómeno provoca que las pérdidas se incrementen, es decir las corriente en el neutro es directamente proporcional a las pérdidas técnicas de la red. En la Figura N°20 se muestra las recomendaciones que nos permitirá principalmente reducir la corriente por el neutro por medio de balance de las cargas, las recomendaciones que se muestran son dirigidas a tramos identificados por el software.

**Figura N° 20** Recomendaciones para el balance de carga

**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

En la Tabla N° 13 se puede observar que con el equilibrio de 220 kW entre fases, los resultados son positivos, debido a que las corriente en el neutro se reduce en alrededor del 39%, el desequilibrio de las cargas se establece en un 2%.

Con el balance de cargas en tres tramos se logra reducir las pérdidas en 10kW, estas medidas son aplicables, tomando en cuenta que con el GIS (Sistema de Información Geográfica), se puede determinar la cantidad y el tipo de acometidas a ser reubicadas.

**Tabla N° 13** Reporte balance de cargas

| Nombre del tramo | Cambio de Fases (kVA) |           |   |         | Fase A (A) | Fase B (A) | Fase C (A) | Neutro (A) | Desequilibrio % |
|------------------|-----------------------|-----------|---|---------|------------|------------|------------|------------|-----------------|
|                  | A                     | B         | C |         |            |            |            |            |                 |
| 48089_MTA        | a B 222.53            |           |   | Antes   | 245        | 111        | 162        | 108        | 41,83           |
|                  |                       |           |   | Despues | 210        | 152        | 160        | 48         | 20,64           |
| 47791_MTA        | a B 227.09            |           |   | Antes   | 210        | 152        | 160        | 48         | 20,64           |
|                  |                       |           |   | Despues | 174        | 193        | 158        | 25         | 10,17           |
| 30437_MTA        |                       | a C 139.6 |   | Antes   | 174        | 193        | 158        | 25         | 10,17           |
|                  |                       |           |   | Despues | 173        | 172        | 178        | 16         | 2,05            |

**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

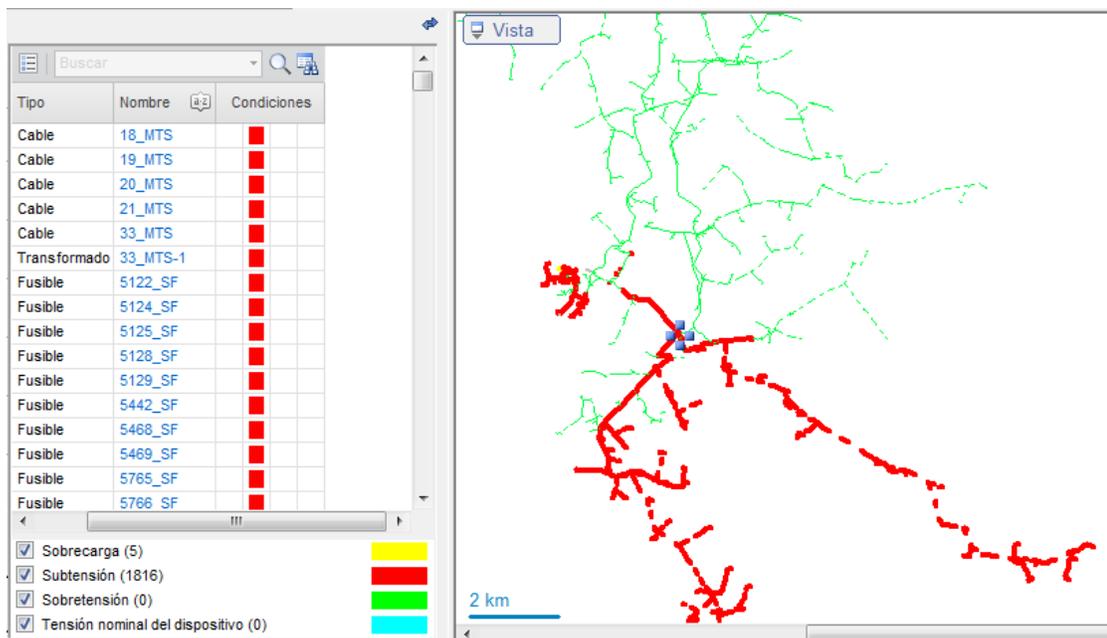
En la Tabla N° 14 se muestra el resumen y el estado del sistema luego de haber realizado con el flujo de potencia con el balance de carga, es notable que con el equilibrio de la carga del sistema la corriente en el neutro se reduce notablemente, y por consecuencia las perdidas disminuyen en 10 kW.

**Tabla N° 14** Resumen del balance de carga

|         | Fase A (A) | Fase B (A) | Fase C(A) | Neutro (A) | Perdidas totales |
|---------|------------|------------|-----------|------------|------------------|
| Antes   | 245        | 111        | 162       | 108        | 309              |
| Despues | 173        | 172        | 178       | 16         | 299              |

**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

En la Figura N° 21 se muestra el alimentador Chimbo con las troncales principales y secundarias, de color rojo se resalta 1816 tramos que tiene una subtensión, y 5 tramos con sobre carga; una vez realizado el balanceo de carga pudiendo minimizar las pérdidas en 220 kW, se continua con el proceso de modelación de las alternativas para mejorar los niveles de pérdidas en la red, se ha optado por una conexión entre puntos terminales del alimentador.

**Figura N° 21** Anomalías alimentador Chimbo luego del balance de carga

**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

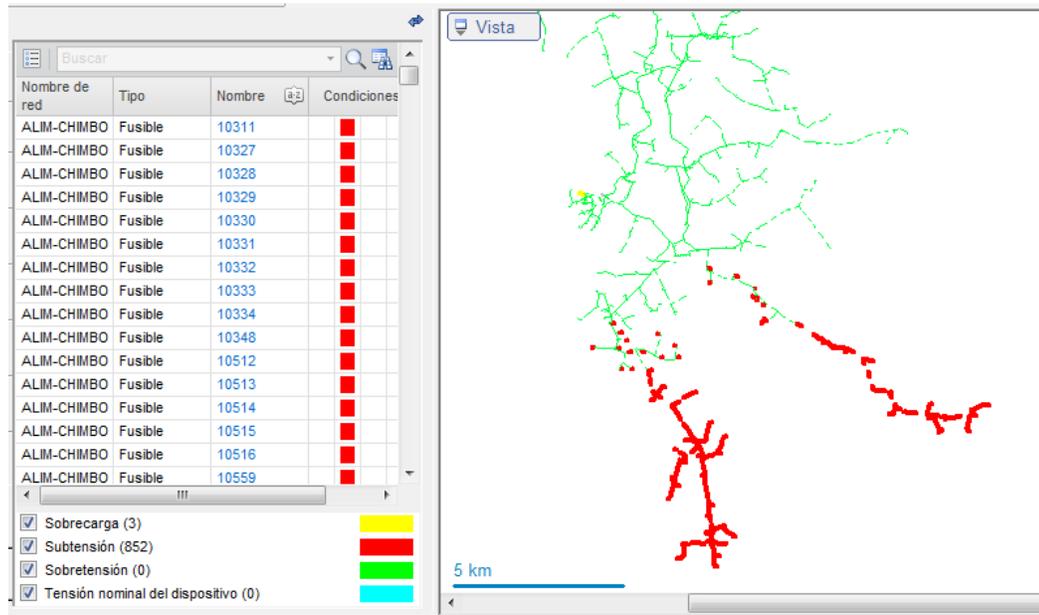
- **Reconfiguración del alimentador Chimbo**

Como resultado de la implementación de mejoras se tiene como resultado lo siguiente:

Por criterio de construcción y por confiabilidad para brindar un servicio continuo se configura varios sectores de la troncal principal en forma de anillo, es así que hemos enlazado el tramo 47730 con el tramo 116506 lo que ha permitido mejorar los niveles de voltajes sin evadir los porcentajes de variación establecidos por la ARCONEL; en la Figura N°22 se observa las

mejoras en el alimentador, con la modelación de las alternativas se reduce de 1816 tramos con subtensión a 852 tramos y de 5 tramos sobrecargados a 3, es necesario mencionar que los puntos dispersos de color rojo representan los transformadores sobrecargados.

**Figura N° 22** Resultado parcial de mejoras implementadas (Balance de carga)



**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

En la Tabla 14 se analiza la disminución de las pérdidas luego de haber enlazado los tramos que se mencionan anteriormente. Con el enlace de los tramos se logra reducir las pérdidas en 10kW, siendo lo más notable la mejora en los voltajes que anteriormente estaban por debajo de la normativa nacional para las subetapa 1 referente a medio voltaje.

**Tabla N° 15** Resumen de disminución de pérdidas por enlace de transformadores

| <b>Resumen Detallado Alim-Chimbo</b>     |           |            |           |
|------------------------------------------|-----------|------------|-----------|
|                                          | <b>kW</b> | <b>kVA</b> | <b>Fp</b> |
| <b>Fuente</b>                            | 2090      | 2152       | 0,98      |
| <b>Resumen de pérdidas</b>               |           |            |           |
| <b>Pérdidas en Líneas kW</b>             | 90,63     |            |           |
| <b>Perddas tranformador kW</b>           | 8,87      |            |           |
| <b>Perdidas en vacio tranformador kW</b> | 23,1      |            |           |
| <b>Total</b>                             | 122,6     |            |           |

**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

- **Repotenciación de conductores**

Varios problemas que presentan los alimentadores en general son debido al inadecuado calibre del conductor, los alimentadores son construidos con un determinado conductor pero debido al crecimiento de la carga y al crecimiento geográfico hace que su cargabilidad aumente y las derivaciones construidas sin la debida planificación permiten tener tramos con distintos calibres de conductor, por ende las condiciones de operación no son la adecuadas y los valores de voltaje e índices de perdidas técnicas no son los adecuados.

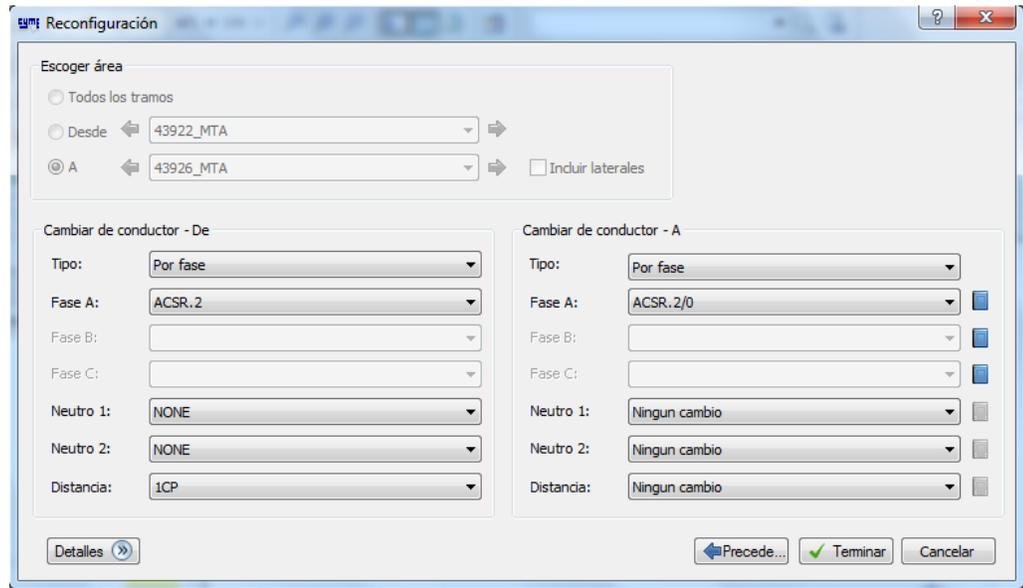
Anteriormente se indica los lineamientos para el diseño y construcción de alimentadores primarios, en donde se especifica los calibres mínimos para su construcción dependiendo de su clasificación ya sean estos troncales principales, ramales o subramales, tomando en consideración dichas políticas dictadas por la Oficina Matriz de la CNEL E.P, se considera adecuado la modelación del alimentador específicamente en ramales y subramales con los calibres de conductores mínimos que se especifica en la normativa.

Lo que se busca con esta modificación en los calibres de los conductores actuales es que se mejore la eficiencia en el servicio, es decir al aumentar el calibre del conductor se consigue que el voltaje sea el óptimo la cargabilidad disminuya, esto debido a que a mayor número de calibre del conductor se tiene mayor capacidad de transporte de corriente.

En atención a lo mencionado se presenta una simulación con una base comparativa de las condiciones iniciales operativas del alimentador.

Con el flujo de potencia se pudo determinar que los calibres de conductor no eran los adecuados por tal motivo se procedió a la modelación de los ramales secundarios con conductores calibre 2/0 de acuerdo a la normativa, en la Figura se muestra una captura de pantalla referente al proceso de cómo se cambió los calibres de los conductores por medio de la opción de reconfiguración que facilita el Cymdist

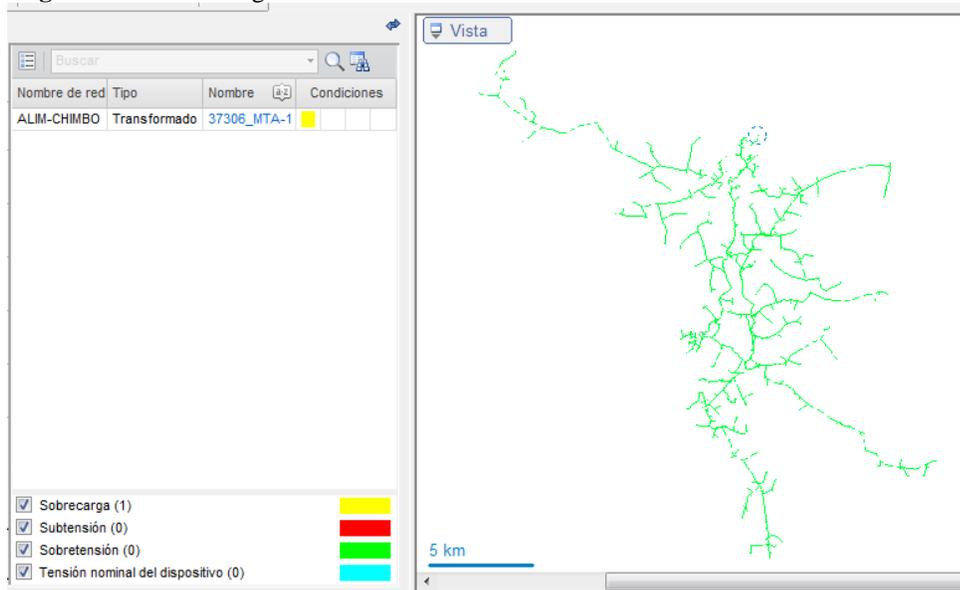
**Figura N° 22** Reconfiguración de calibre de conductor



**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

En la Figura N°24 se muestra que con el aumento del conductor se ha disminuido notablemente las pérdidas del alimentador, logrando tener como resultado que ningún tramo refleje bajos niveles de voltaje con referencia la normativa; en varios tramos del alimentador los calibres de los conductores son inadecuados, la problemática radica varias veces en que los alimentadores han sido construidos antes de que sea emitida la norma corporativa.

**Figura N° 23** Reconfiguración de calibre de conductor



**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

En la Tabla N° 16 se muestra un reporte producto del flujo de carga que se ha realizado al alimentador Chimbo luego de la implementación de las alternativas que se ha mencionado, es necesario indicar que una vez que se cambió los calibres de los conductores en la troncal principal, ramales y subramales, se corre un flujo y distribución de carga para verificar y analizar los cambios que se han realizado al alimentador Chimbo a fin de disminuir las pérdidas técnicas y mejorar los niveles de voltaje

Con respecto a las pérdidas técnicas en la líneas se tiene una notable evolución ya que en el reporte inicial se mostraba pérdidas de alrededor de 100 kW con los cambios realizados estas pérdidas se establecen en 62 kW, no obstante las pérdidas que se producen en la etapa de transformación se han mantenido con variaciones mínimas, este fenómeno se debe a que la carga del sistema vinculada a cada transformador no ha variado; las pérdidas totales del sistema principalmente son calculadas por la sumatoria de todas pérdidas que se producen en las líneas, en los transformadores(vacío, con carga), en condiciones iniciales se tuvo pérdidas de alrededor de 132 kW, con las propuestas implementadas en la simulación se reducen a 95kW

**Tabla N° 16** Reporte total del flujo de potencia

| <b>Resumen Detallado Alim-Chimbo</b>     |           |            |           |
|------------------------------------------|-----------|------------|-----------|
|                                          | <b>kW</b> | <b>kVA</b> | <b>Fp</b> |
| <b>Fuente</b>                            | 2099      | 2142       | 0,98      |
| <b>Resumen de pérdidas</b>               |           |            |           |
| <b>Pérdidas en Líneas kW</b>             | 62,38     |            |           |
| <b>Perddas tranformador kW</b>           | 8,82      |            |           |
| <b>Perdidas en vacio tranformador kW</b> | 23,82     |            |           |
| <b>Total</b>                             | 95,02     |            |           |

Fuente: Cnel EP-Bolívar

## 12. ANÁLISIS ECONOMICO

El análisis económico de un proyecto implica la evaluación de costos y beneficios que permitan determinar el rendimiento financiero que obtendrá la Unidad de Negocio Bolívar al ejecutar el proyecto. La evaluación económica brinda importantes resultados que son de vital importancia en la toma de decisiones, arrojando indicadores que permiten conocer si al menos se cubrirá los costos de inversión y aun mejor se contribuirá con los ingresos económicos de la empresa.

## **Criterios para la evaluación económica**

Para tener un mayor enfoque en el análisis económico es necesario conceptualizar y poner en consideración varios términos, mismos que se detallan a continuación:

### **Análisis Costo Beneficio**

El análisis costo - beneficio es una herramienta financiera que mide la relación entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión con el fin de evaluar su rentabilidad, entendiéndose por proyecto de inversión no solo como la creación de un nuevo negocio, sino también, como inversiones que se pueden hacer en un negocio en marcha tales como el desarrollo de nuevo producto o la adquisición de nueva maquinaria.

Mientras que la relación costo - beneficio (B/C), también conocida como índice neto de rentabilidad, es un cociente que se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el Valor Actual de los Costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto.

$$CB = \frac{VAI}{VAC}$$

Dónde:

*CB*: Relación costo beneficio

*VAI*: Valor actual de inversión

*VAC*: Valor actual de los costos

Según el análisis costo - beneficio, un proyecto o negocio será rentable cuando la relación costo - beneficio es mayor que la unidad.

$B/C > 1 \rightarrow$  el proyecto es rentable

### **Factores para realizar el Análisis Económico**

Principalmente los proyectos enmarcados en el área técnica, para el caso de estudio los proyectos del sector eléctrico deben cumplir primeramente con las características técnicas que estos demandan y posteriormente realizar el estudio de factibilidad económica, tomando en cuenta que las empresas distribuidoras de energía tiene una visión técnica con un enfoque de servicio a la ciudadanía, es decir el beneficio está por encima del costo.

Los siguientes indicadores permiten que el análisis económico sea conciso y breve:

- Calculo de la energía que se ahorra por medio de las alternativas planteadas.
- Calculo económico de la energía que se ahorra por la reducción de pérdidas.
- Calculo del beneficio que se obtiene por la repotenciación de los conductores
- Calculo del costo - beneficio

Como alternativas para reducir las pérdidas en el alimentador Chimbo se determinó que el balance de carga, el enlace del tramo 47730 con el tramo 116506 y la repotenciación de los conductores en determinadas troncales y ramales eran indicadas por sus características que inciden en la disminución de pérdidas. El balance de carga y el enlace entre los tramos mencionados no serán analizados económicamente debido a que la distribuidora cuenta con el departamento de Operación y Mantenimiento, quien en conjunto con el departamento GIS pueden realizar el balanceo de cargas y enlace de tramos ya que son trabajos menores pero con impacto importante. No obstante la repotenciación de los conductores en determinadas aéreas que se ha identificado si son objeto de un estudio económico.

- **Ahorro de Energía**

La energía que se ahorra luego de la implementación de las alternativas es decir luego de la repotenciación de los conductores se define de la siguiente manera:

$$E_{ahorro} = E_{p\_inicial} - E_{p\_final}$$

Dónde:

**$E_{ahorro}$** : Energía ahorrada por la implementación de las alternativas [kWh]

**$E_{p\_inicial}$** : Pérdidas de energía antes de la implementación de las alternativas [kWh]

**$E_{p\_final}$** : Pérdidas de energía luego de la implementación de las alternativas [kWh]

- **Costo de las Pérdidas de Energía**

La determinación de costo de la pérdidas de energía es el resultado del producto entre el precio de la energía y las pérdidas producidas en la red primaria, es necesario indicar que el precio

promedio real del kWh es de \$4.5, para el análisis económico que se realiza se toma en consideración el precio de la energía en la etapa de distribución \$0.08

$$C_{p\_energia} = k * P_{energia}$$

**Dónde:**

$C_{p\_energia}$ : Costo de las pérdidas de energía [\$]

$k$ : Precio de la energía en la etapa de distribución [\$]

$P_{energia}$ : Pérdidas de energía en la red primaria [kWh]

**Determinación de las pérdidas de Energía**

Como proceso del análisis económico se muestra en la Tabla N°17 el ahorro producto de la simulación que se realizó luego de la implementación de las alternativas planteadas; el alimentador en condiciones iniciales tenía pérdidas de 624 kW/h, al realizar un balance de carga en el sistema, específicamente en los tramos 48089, 47791 y 30437, donde se logra reducir la pérdidas a 264 kW/h, luego se realizó un flujo de potencia con la repotenciación de los conductores, con lo cual las pérdidas se reducen a 190 kW/h.

**Tabla N° 17** Beneficios por alternativas planteadas

| Balance de Carga |       |         |       | Repotenciacion de Conductores |       |         |      |
|------------------|-------|---------|-------|-------------------------------|-------|---------|------|
| Antes            |       | Despues |       | Antes                         |       | Despues |      |
| kW/h             | \$    | kW/h    | \$    | kW/h                          | \$    | kW/h    | \$   |
| 624              | 49,92 | 264     | 21,12 | 264                           | 21,12 | 190     | 15,2 |

**Fuente:** Autores

En resumen las pérdidas se reducen en 434 kWh con las alternativas planteadas con anterioridad, en la Tabla N°18 se muestra el ahorro anual que produce la inversión ante la implementación de la alternativas sugeridas y simuladas.

**Tabla N° 18** Beneficios por alternativas planteadas

| Perdidas Anuales |         |         |      | Ahorro Anual(\$) | Ahorro Anual(MWh/año) |
|------------------|---------|---------|------|------------------|-----------------------|
| Antes            |         | Despues |      |                  |                       |
| kWh/año          | \$      | kWh/año | \$   |                  |                       |
| 227760           | 18220,8 | 69350   | 5548 | 12672,8          | 158,41                |

**Fuente:** Autores

Los valores que se muestran en la Tabla 7 corresponden al ahorro que se produce antes de la implementación de las alternativas y luego de la misma, 227760 kWh se pierde en el año en el alimentador chimbo a nivel de primario, con la ejecución de las propuestas se determina que las pérdidas alcanzan alrededor de 69350 kWh, teniendo un ahorro anual de 158.41 MW/h en un periodo móvil, si el ahorro anual en energía es cuantificado con el precio de energía en la etapa de distribución, la distribuidora tendría como ingresos por ahorro la cantidad de \$12672,8 dólares.

En la Tabla N° 19 se muestra el cálculo del precio de los conductores y la cantidad en metros que se utilizara en la repotenciación de ciertos tramos, es necesario indicar que por normativa interna de CNEL - Oficina Central el calibre del conductor para el neutro es el mismo de las fases.

**Tabla N° 19** Costo de materiales

| <b>COSTO DE COSTO DE CODUCTORES</b> |                                                   |                 |               |                   |                     |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------|---------------|-------------------|---------------------|
| <b>Item</b>                         | <b>Descripcion</b>                                | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b> | <b>Precio c/u</b> | <b>Total</b>        |
| 1                                   | Conductor de aluminio desnudo cableado ACSR # 4/0 | 10136           | m             | \$ 1,97           | \$ 19.967,92        |
| 2                                   | Conductor de aluminio desnudo cableado ACSR # 2/0 | 6538            | m             | \$ 1,25           | \$ 8.172,50         |
| 3                                   | Conductor de aluminio desnudo cableado ACSR # 1/0 | 3810            | m             | \$ 0,94           | \$ 3.581,40         |
|                                     |                                                   |                 |               |                   | <b>\$ 31.721,82</b> |

**Fuente:** Cnel EP-Bolívar

Anteriormente se indica que se utiliza en método de relación costo beneficio para el análisis financiero del proyecto, en la Tabla 20 se muestra los indicadores de valoración de rentabilidad del proyecto. El indicador de costo beneficio relaciona el costo total de la inversión y la utilidad que produce, para el proyecto se tiene una inversión de \$31721.82 por concepto de conductores, la mano de obra se excluye debido a que la Unidad de Negocio Bolívar tiene un grupo dedicado a construcciones y repotenciaciones de alimentadores, adicional se tiene un ingreso por ahorro de \$12672,8, lo que implica tener un índice de costo beneficio de 0.4.

Por lo general se requiere saber el tiempo en el cual se recupera la inversión del proyecto, para el caso particular el dinero invertido será recuperado en aproximadamente 3 años,

**Tabla N° 20** Análisis Costo-Beneficio

| <b>RELACIÓN COSTO BENEFICIO</b>      |              |
|--------------------------------------|--------------|
| <b>COSTO TOTAL DE LA INVERSIÓN</b>   |              |
| 31721,82                             |              |
| <b>Beneficio</b>                     | <b>Valor</b> |
| <b>Beneficio de Energía</b>          | \$ 434,00    |
| <b>Recuperación Económica</b>        |              |
| <b>Recuperación de energía</b>       | \$ 12.672,80 |
| <b>Total</b>                         | \$ 12.672,80 |
| <b>Índice de Costo-Beneficio</b>     |              |
| 0,4                                  |              |
| <b>Tiempo de Recuperación (años)</b> |              |
| 3                                    |              |

Fuente: Autores

### 13. IMPACTOS

Los impactos del presente proyecto de investigación se verán reflejados principalmente en tres indicadores que son los siguientes:

Luego del análisis técnico que se realiza al alimentador Chimbo se determina mediante simulación de las alternativas de solución planteadas satisfacen los objetivos del proyecto, el fundamento radica en que el alimentador en condiciones iniciales del estudio presento pérdidas globales de 312kW, luego de la finalización del estudio las pérdidas ascienden a 95kw, al momento de disminuir perdidas en la red se mejora también los niveles de voltaje.

El proyecto planteado y revisado económicamente no es rentable ya que presenta un índice de costo beneficio de 0.4 con un periodo de recuperación de 3 años aproximadamente, es necesario indicar que la inversión se justifica ya que con los cambios realizados se podrá cumplir con la regulación de calidad de servicio eléctrico que ha sido emitida por la ARCONEL.

En la parte social el proyecto tiene incidencia en la calidad de producto que la Unidad de Negocio Bolívar entrega a sus clientes, es decir que con las mejoras planteadas y simuladas los usuarios serán beneficiados ya que los niveles del voltaje de consumo serán óptimos y acordes con la regulación emitida para el efecto.

### 14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

- Previo al análisis del alimentador Chimbo se realizó un levantamiento y validación de la información referente a las características de los conductores, potencia de los

transformadores y actualización de las modificaciones realizadas en el alimentador, adicional a la actualización de la de la base de datos se realizó mediciones puntuales en determinados transformadores del alimentador, que de acuerdo al Cymdist tenían sobrecarga

- Como resultado del análisis del alimentador Chimbo luego de correr los flujos de potencia se pudo determinar que los calibres de conductores en determinados tramos no son los adecuados esto debido al crecimiento poblacional lo que ha permitido que los conductores operen en condiciones de sobrecarga, como resultado del análisis de las pérdidas en el circuito primario el alimentador se pudo determinar que en la actualidad tiene alrededor de 312kW de pérdidas de potencia, con respecto a las pérdidas de energía estas hacen a 624kWh, lo que implica que la distribuidora por efecto de las pérdidas técnicas disminuye su ingreso en 49,02 USD, las pérdidas calculadas obedecen a la potencia disipada en los conductores y en los transformadores.
- Como medidas para reducir las pérdidas en el alimentador Chimbo se plantea tres alternativas que han permitido que los resultados esperados sean satisfactorios, el balance de carga, el enlace entre tramos indicados y la repotenciación de los extremos del alimentador en sus troncales, ramales y subramales permiten que el nivel de pérdidas se reduzca a 95kW.

El balance de carga entre las fases para disminuir el porcentaje de desequilibrio entre las mismas permitió que se reduzca alrededor de 180 kW, por consecuencia de las elevadas corrientes que circulaban por el neutro, el desequilibrio antes del balance de carga se mantenía en un 41.83%, pudiendo reducirse hasta un 2.05% entre fases del sistema trifásico en los tramos 48089, 47791 y 30437.

Rediseñar las redes eléctricas en ocasiones permite mejorar la eficiencia de la red y por ende la mejora del servicio, para el caso del alimentador Chimbo se modeló el enlace de los tramos 47730 y 116506, lo que permite mejorar los niveles de voltaje, de forma que el enlace permite tener un pequeño añillo con la operación de seccionamientos.

- Luego de que las tres alternativas han sido evaluadas técnicamente por medio de la corrida de flujos de potencia y que han cumplido con los requerimientos técnicos esperados, se procede a la evaluación económica, con la metodología costo - beneficio, el costo de la inversión asciende a \$31721.82 USD, producto de la inversión la Unidad de

Negocio Bolívar tiene un ingreso anual por ahorro de \$12672,8 USD, lo que implica que el índice de costo beneficio sea de 0.4. Un proyecto evaluado con el método de costo beneficio es rentable siempre y cuando el índice sea mayor que 1, para el presente proyecto el índice es menor que 1 lo que implica que el proyecto económicamente no tiene rentabilidad.

### **Recomendaciones**

- Se recomienda que se implante una estrecha relación entre el Departamento de Operación y Mantenimiento, Construcciones y GIS, de esta manera se actualizara la base de datos del GIS, en referencia a los calibres de conductores, transformadores, cargas; en general los componentes de la red eléctrica, actualizaciones de extensiones de redes, conforme se avance con los trabajos planificados, lo que permitirá tener información clasificada para que se continúe con los estudios de pérdidas, con la posibilidad de disminuir el porcentaje de error en los resultados arrojados.
- Se recomienda que en base a la información que se adquiere del sistema de medición a través de los medidores industriales IÓN 8600 en conjunto con la información actualizada del GIS se realice un estudio minucioso y completo de las pérdidas tanto en el circuito primario, secundario, transformadores y acometidas que integran el alimentador Chimbo, tomando en cuenta que el sistema SCADA de la Unidad de Negocios Bolívar en la actualidad tiene integrado a todas las subestaciones con sus respectivos alimentadores, de donde se puede obtener las mediciones de potencia, energía, voltaje, corriente, factor de potencia entre otros.
- Desarrollar un método de cálculo de pérdidas a nivel de circuito secundario, que permita evaluar las pérdidas que se producen en esta etapa, debido a que en la actualidad la CNEL EP cuenta con el módulo de análisis a nivel de red primaria, al realizar análisis con carga concentrada se discrimina las pérdidas que se producen aguas abajo del circuito primario.
- Se recomienda la inclusión en el proceso de la emisión de factibilidades de servicio y nuevos clientes, el criterio técnico del departamento de GIS y Cymdist lo que conlleva a que se articule el trabajo con el departamento Comercial, de esta manera el crecimiento de la carga en los alimentadores será relativamente uniforme lo que evitara que el porcentaje de desequilibrio del sistema tienda a crecer.

- Se recomienda que los análisis de desequilibrio de corrientes por fase y corrientes en el neutro realizados en Cymdist sean corroborados por medio de la instalación temporal de pinzas amperimétricas en media tensión con las que cuenta la Unidad de Negocio Bolívar, que permiten realizar medidas de corriente en determinados puntos con la capacidad de almacenar históricos de mediciones.

## 15. Bibliografía

CONELEC. (2014). REGULACION 004/001. Obtenido de [www.conelec.gob.ec](http://www.conelec.gob.ec)

EATON. (NOVIEMBRE de 2016). EATON POWERING BUSINESS WORLDWIDE. Obtenido de <http://www.cyme.com/es/software/cymdist/>

Freire Villacís , B. V. (2012). ANÁLISIS TÉCNICO DE LA OPERACIÓN DEL ALIMENTADOR N°2 DE LA S/E OTAVALO, DE LA EMPRESA ELÉCTRICA EMELNORTE S.A. Escuela Politecnica Nacional, Facultad de Ingeniería Electrica y Electronica, Quito. Obtenido de [file:///C:/Users/GALO/Downloads/CD-4092%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/GALO/Downloads/CD-4092%20(1).pdf)

González Hidalgo , W. D. (2014). IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COCCIÓN DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCION DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A EN LA CIUDAD DE LOJA. Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/19841/1/TESIS.pdf>

Haro, D. (2015). MEJORA DEL FACTOR DE UTILIZACION DE TRANFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN EN LA EEQ. Escuela Politecnica Nacional , Tesis, Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10529/1/CD-6229.pdf>

Ipiales Angamarca, A. G. (2005). DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDAS TÉCNICAS EN EL ALIMENTADOR N° 5 DE LA SUBESTACIÓN SAN AGUSTÍN PERTENECIENTE A EMELNORTE SA. Escuela Politecnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6991/1/T2464.pdf>

Jaramillo, J., & Rosero, J. (2014). DE LAS COCINAS DE INDUCCIÓN EN LA DEMANDA DEL TRANSFORMADOR DE EDIFICIOS DE PROPIEDAD HORIZONTAL PREPONDETANTES RESIDENCIALES. Tesis, Escuela Politecnica Nacional, Facultad de Ingeniería Electrica y Electrónica, Quito. Obtenido de Escuela Politecnica Nacional

Llumiquinga Loya, F. S. (2012). DISEÑO DE UN BANCO DE CONDENSADORES PARA LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA DE LA EMPRESA BANCHISFOOD S.A. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Facultad de Ingenierias, Quito. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6607/1/UPS-KT00475.pdf>

- MEER. (Octubre de 2016). Ministerio de Electricidad y Energías Renovables. Obtenido de <http://www.energia.gob.ec/plan-de-reduccion-de-perdidas-de-energia-electrica-planrep-2/>
- MUYUNLEMA MASAQUIZA , J. P. (2008). ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA MEPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A. Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4208/1/CD-1337.pdf>
- Pozo Guerron , J. P. (mayo de 2014). Escuela Politecnica Nacional. Obtenido de Facultad de Ingeniería Eléctrica: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7667/1/CD-5628.pdf>

# ANEXOS