

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería En Ciencias Aplicadas

Carrera De Ingeniería En Mantenimiento Eléctrico

## **ESTUDIO DE UBICACIÓN ÓPTIMA DE BANCO DE CAPACITORES, EN LOS ALIMENTADORES DE LA SUBESTACIÓN LA ESPERANZA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE**

Plan de trabajo de grado presentado ante la ilustre Universidad Técnica del Norte previo A La Obtención Del Título De Ingeniería En Mantenimiento Eléctrico.

AUTOR:

Enríquez Criollo Juan Carlos

DIRECTOR:

MSc. Segundo Hernán Pérez Cruz

IBARRA- ECUADOR

2021



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	040170489-5		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Enríquez Criollo Juan Carlos		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Tulcán, Cdla. Padre Carlos de la Vega – José Martí y Adolfo Becker		
<b>EMAIL:</b>	jcenriquezc@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0985394245

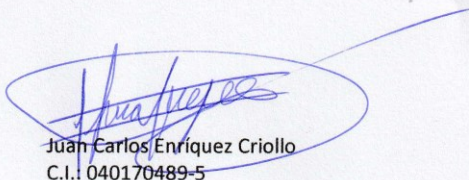
DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Estudio de Ubicación Óptima de Banco de Capacitores, en los Alimentadores de la Subestación La Esperanza de la Empresa Eléctrica Regional Norte.
<b>AUTOR (ES):</b>	Enríquez Criollo Juan Carlos
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	22 – octubre – 2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	MSc. Segundo Hernán Pérez Cruz

## 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de octubre del 2021

EL AUTOR:



Juan Carlos Enriquez Criollo  
C.I.: 040170489-5



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

**MSc. Hernán Pérez.**

### CERTIFICACIÓN

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante: Enriquez Criollo Juan Carlos, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **“ESTUDIO DE UBICACIÓN ÓPTIMA DE BANCO DE CAPACITORES, EN LOS ALIMENTADORES DE LA SUBESTACIÓN DE LA ESPERANZA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE”**. Para la obtención de título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico; aprobando la defensa, impresión y empastado.



Firmado electrónicamente por:  
**SEGUNDO  
HERNAN PEREZ  
CRUZ**

.....

**MSc. Hernán Pérez**  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## **Dedicatoria**

Este trabajo va dedicado hacia mi madre, mi hermana, mi hermano y mi abuelita que siempre estuvieron en los buenos y malos momentos en donde supieron brindarme un sabio consejo.

También va dedicado a personas que ya no pueden disfrutar de mis logros como son mi Padre, mi Sobrino y mi Abuelito, pero sé que ellos desde el cielo siempre me van a estar cuidando, guiándome y brindándome sus bendiciones.

## **Agradecimiento**

Agradecer a Dios por permitirme culminar esta etapa tan maravillosa que son los estudios. De una manera muy especial a mi madre Luisa Criollo por ser el sustento de mi familia en donde se ve reflejado todo el amor y comprensión y el ejemplo que siempre hemos percibido de ella. Ya que con su gran esfuerzo es la persona más valiente y con más coraje que conozco.

También agradecer a mi hermano Romel y a mi hermana Leidy por enseñarme que siempre debemos luchar por nuestros sueños que a pesar de no contar con una figura paterna siempre debemos respetar y acatar las decisiones de una madre que siempre ha luchado por darle lo mejor a sus hijos.

A mis sobrinos que siempre estuvieron presentes en el camino y de una manera u otra manera siempre van a estar presente en mi vida.

A mi abuelita Mariana Pérez que siempre brinda su apoyo incondicional no solo a mi si no a todos en mi familia.

También agradecer a los ingenieros del departamento de estudios eléctricos por haberme brindado sus conocimientos para poder realizar este trabajo ya que con la ayuda de ellos este trabajo también fue posible.

Y agradecer a mi familia en general que siempre brindan un apoyo incondicional y como no agradecer a todas las personas que formaron parte del camino recorrido y siempre nos llevaremos un gran recuerdo de esas personas ya sean amigos, vecinos y muchas personas que estuvieron presentes en donde siempre me supieron manifestar su apoyo de distintas maneras.

# Índice de Contenido

<b>Autorización de uso y Publicación a Favor de la Universidad Técnica del Norte .....</b>	<b>II</b>
<b>Constancia .....</b>	<b>III</b>
<b>Carta De Aceptación .....</b>	<b>IV</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>V</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>VI</b>
<b>Índice de Contenido .....</b>	<b>VII</b>
<b>Índice figuras .....</b>	<b>XII</b>
<b>Índice Tablas .....</b>	<b>XIV</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>XV</b>
<b>Abstrac .....</b>	<b>XVI</b>
<b>CONTEXTUALIZACIÓN.....</b>	<b>XVII</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>XVIII</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>XIX</b>
<b>OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>XIX</b>
<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS .....</b>	<b>XIX</b>
<b>ALCANCE .....</b>	<b>XIX</b>
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>XX</b>
<b>VIABILIDAD .....</b>	<b>XX</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>Marco Teórico.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Sistema eléctrico.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Sistema de generación .....</b>	<b>1</b>



<b>1.3 Sistema de transmisión .....</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Sistema de subtransmisión .....</b>	<b>2</b>
<b>1.5 Sistema de distribución .....</b>	<b>2</b>
<b>1.5.1 Subestación de distribución .....</b>	<b>2</b>
<b>1.5.2 Alimentador primario .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5.3 Transformadores de distribución.....</b>	<b>3</b>
<b>1.5.4 Redes secundarias.....</b>	<b>3</b>
<b>1.6 Clasificación de alimentadores primarios de acuerdo con el tipo de red.</b>	<b>3</b>
<b>1.6.1 Alimentador Primario Radial .....</b>	<b>4</b>
<b>1.6.2 Alimentador Primario Anillo .....</b>	<b>5</b>
<b>1.6.3 Alimentador Primario Mallado .....</b>	<b>6</b>
<b>1.7 Tipos de Carga en Alimentadores.....</b>	<b>6</b>
<b>1.7.1 Cargas lineales .....</b>	<b>6</b>
<b>1.7.2 Cargas no lineales .....</b>	<b>7</b>
<b>1.8 Triangulo de potencia .....</b>	<b>7</b>
<b>1.9 Factor de potencia.....</b>	<b>8</b>
<b>1.10 Regulación 005/20 Régimen de las transacciones comerciales en el sector eléctrico ecuatoriano de potencia reactiva.....</b>	<b>8</b>
<b>1.10.1 Distribuidores y grandes consumidores .....</b>	<b>9</b>
<b>1.10.2 Niveles de voltaje y factor de potencia .....</b>	<b>9</b>
<b>1.10.3 Suministro de potencia reactiva.....</b>	<b>10</b>
<b>1.10.4 Magnitud de potencia reactiva remunerable disponible .....</b>	<b>10</b>
<b>1.11 Estudio CENACE límites del factor de potencia .....</b>	<b>11</b>
<b>1.11.1 Factor de potencia.....</b>	<b>11</b>
<b>1.11.2 Determinación factor de potencia .....</b>	<b>11</b>
<b>1.12 Tipos de compensación reactiva en sistemas de distribución .....</b>	<b>12</b>
<b>1.13 Banco de capacitores .....</b>	<b>13</b>



<b>1.14 Control de bancos desconectables .....</b>	<b>14</b>
<b>1.15 Capacidades estándar .....</b>	<b>15</b>
<b>1.16 Metodología para la ubicación de capacitores.....</b>	<b>15</b>
<b>1.17 Métodos de ubicación de capacitores.....</b>	<b>16</b>
<b>1.18 Conexión de capacitores en redes de distribución .....</b>	<b>16</b>
<b>1.18.1 Capacitores conectados en delta.....</b>	<b>17</b>
<b>1.18.2 Conexión en estrella aterrizado.....</b>	<b>17</b>
<b>1.18.3 Conexión de estrella flotante .....</b>	<b>18</b>
<b>1.18.4 Conexión estrella doble .....</b>	<b>18</b>
<b>1.19 Causas del bajo factor de potencia .....</b>	<b>19</b>
<b>1.20 Efectos del bajo factor de potencia.....</b>	<b>19</b>
<b>1.21 Beneficio de la aplicación de bancos de capacitores .....</b>	<b>20</b>
<b>1.22 Modelación del sistema de distribución en Cymdist .....</b>	<b>20</b>
<b>1.22.1 Análisis del sistema de distribución.....</b>	<b>20</b>
<b>1.22.2 Modelado y representación.....</b>	<b>21</b>
<b>1.22.3 Simulaciones con Cymdist.....</b>	<b>21</b>
<b>1.22.4 Dimensionamiento y ubicación óptima de condensadores .....</b>	<b>21</b>
<b>CAPITULO 2 .....</b>	<b>22</b>
<b>  2 Metodología y situación actual.....</b>	<b>22</b>
<b>  2.1 Descripción del sistema eléctrico de EMELNORTE S.A .....</b>	<b>22</b>
<b>  2.2 Descripción y situación actual de la Subestación La Esperanza .....</b>	<b>23</b>
<b>  2.3 Demanda alimentadores .....</b>	<b>24</b>
<b>  2.4 Factor de potencia.....</b>	<b>25</b>
<b>  2.5 Curvas del factor de potencia.....</b>	<b>25</b>
<b>  2.6 Metodología para la aplicación de bancos de capacitores en   alimentadores primarios de media tensión .....</b>	<b>26</b>
<b>  2.6.1 Análisis de la demanda .....</b>	<b>27</b>
<b>  2.6.1.1 Registro de mediciones .....</b>	<b>27</b>
<b>  2.6.1.2 Curvas de carga .....</b>	<b>28</b>

<b>2.6.2</b>	<b>Objetivos y parámetros para aplicación de capacitores</b>	<b>28</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Procedimiento para aplicar bancos de capacitores</b>	<b>28</b>
<b>2.6.3.1</b>	<b>Utilización del software CYME – Cymdist para la ubicación de capacitores</b>	<b>29</b>
<b>2.6.3.2</b>	<b>Módulo de Distribución de Carga</b>	<b>29</b>
<b>2.6.3.3</b>	<b>Modulo Flujo de Carga</b>	<b>30</b>
<b>2.6.3.4</b>	<b>Modulo ubicación de condensadores</b>	<b>31</b>
<b>2.7</b>	<b>Resumen general del capítulo</b>	<b>33</b>
<b>CAPITULO 3</b>		<b>34</b>
<b>3</b>	<b>Resultados al implementar Banco de Capacitores</b>	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>Ubicación del banco de capacitores en el alimentador Z1</b>	<b>34</b>
<b>3.2</b>	<b>Ubicación del banco de capacitores en el alimentador Z2</b>	<b>36</b>
<b>3.3</b>	<b>Ubicación del banco de capacitores en el alimentador Z3</b>	<b>38</b>
<b>3.4</b>	<b>Ubicación del banco de capacitores en el alimentador Z4</b>	<b>39</b>
<b>3.5</b>	<b>Resumen</b>	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>47</b>
<b>6.1</b>	<b>ANEXO 1: Especificaciones banco de capacitores según la norma IEEE Std 18-2002</b>	<b>47</b>
<b>6.2</b>	<b>Anexo 2: Manual Procedimientos Para la Ubicación optima de capacitores en los alimentadores de la Subestación La Esperanza de EMELNORTE</b>	<b>48</b>
<b>6.2.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>48</b>
<b>6.2.2</b>	<b>Adquisición de información</b>	<b>48</b>
<b>6.2.3</b>	<b>Ingreso de datos al software Cymdist</b>	<b>49</b>
<b>6.2.4</b>	<b>Módulo análisis de distribución de carga</b>	<b>51</b>
<b>6.2.5</b>	<b>Ubicación optima de capacitores</b>	<b>53</b>
<b>6.2.6</b>	<b>Módulo de Flujo de Carga</b>	<b>55</b>

<b>6.2.7 Resultados finales .....</b>	<b>57</b>
<b>6.3 Anexo 3: REGISTRO DE MEDICIONES MEDIDORES ION SUBESTACIÓN LA ESPERANZA.....</b>	<b>58</b>
<b>6.4 Anexo 4: REPORTE SUMARIO Y ALIMENTADORES SIN BANCO DE CAPACITORES.....</b>	<b>59</b>
<b>6.5 Anexo 5: REPORTE SUMARIO Y ALIMENTADORES CON BANCO DE CAPACITORES.....</b>	<b>60</b>

## Índice figuras

<b>Fig. 1 Estructura de Sistema Eléctrico de Potencia.....</b>	<b>1</b>
<b>Fig. 2 Partes de un alimentador primario .....</b>	<b>4</b>
<b>Fig. 3 Alimentador primario radial .....</b>	<b>5</b>
<b>Fig. 4 Alimentador primario en anillo.....</b>	<b>5</b>
<b>Fig. 5 Alimentador Primario Mallado .....</b>	<b>6</b>
<b>Fig. 6 Triangulo de potencias .....</b>	<b>7</b>
<b>Fig. 7 Tipos de condensadores .....</b>	<b>13</b>
<b>Fig. 8 Tipos de compensación .....</b>	<b>16</b>
<b>Fig. 9 Conexión capacitores en delta .....</b>	<b>17</b>
<b>Fig. 10 Conexión capacitores en estrella aterrizados.....</b>	<b>17</b>
<b>Fig. 11 Conexión capacitores en estrella flotante .....</b>	<b>18</b>
<b>Fig. 12 Conexión capacitores en estrella doble .....</b>	<b>19</b>
<b>Fig. 13 Electrificación área de concesión Emelnorte.....</b>	<b>22</b>
<b>Fig. 14 Ubicación S/E La Esperanza.....</b>	<b>23</b>
<b>Fig. 15 Diagrama Unifilar S/E La Esperanza.....</b>	<b>23</b>
<b>Fig. 16 Topología alimentadores de la subestación la esperanza.....</b>	<b>24</b>
<b>Fig. 17 Factor de potencia en demanda máxima .....</b>	<b>26</b>
<b>Fig. 18 Ventana de propiedades de la red .....</b>	<b>29</b>
<b>Fig. 19 Ventana Modulo Distribución de Carga.....</b>	<b>30</b>
<b>Fig. 20 Ventana Módulo Flujo de Carga .....</b>	<b>31</b>
<b>Fig. 21 Ventana Modulo Ubicación de Condensadores .....</b>	<b>32</b>
<b>Fig. 22 Resultados Búsqueda Iterativa.....</b>	<b>33</b>
<b>Fig. 23 Resultados Búsqueda Iterativa Alimentador Z1 .....</b>	<b>34</b>
<b>Fig. 24 Lugares donde puede instalar el banco de capacitores del alimentador Z1.....</b>	<b>35</b>
<b>Fig. 25 Coordenadas postes seleccionados para instalar los bancos de capacitores Z1 .....</b>	<b>35</b>
<b>Fig. 26 Lugares donde puede instalar el banco de capacitores del alimentador Z2.....</b>	<b>36</b>
<b>Fig. 27 Coordenadas postes seleccionados para instalar los bancos de capacitores Z2 .....</b>	<b>37</b>

<b>Fig. 28 Lugares donde puede instalar el banco de capacitores del alimentador Z3.....</b>	<b>38</b>
<b>Fig. 29 Coordenadas postes seleccionados para instalar los bancos de capacitores Z3.....</b>	<b>38</b>
<b>Fig. 30 Lugares donde puede instalar el banco de capacitores del alimentador Z4.....</b>	<b>39</b>
<b>Fig. 31 Coordenadas postes seleccionados para instalar los bancos de capacitores Z4.....</b>	<b>40</b>

## Índice Tablas

<b>TABLA 1: Factor de potencia en puntos de entrega del S.N.T .....</b>	<b>11</b>
<b>TABLA 2: Voltajes en el S.N.I. para diferentes valores de factor de potencia de Emelnorte.....</b>	<b>12</b>
<b>TABLA 3: Alimentadores subestación la esperanza.....</b>	<b>24</b>
<b>TABLA 4: Demanda Alimentadores Subestación La Esperanza .....</b>	<b>25</b>
<b>TABLA 5: Factor de Potencia Promedio Anual .....</b>	<b>25</b>
<b>TABLA 6: Parámetros para la ubicación optima de condensadores .....</b>	<b>28</b>
<b>TABLA 7: Resultados Obtenidos en el Alimentador Z1 .....</b>	<b>36</b>
<b>TABLA 8: Resultados Obtenidos en el Alimentador Z2 .....</b>	<b>37</b>
<b>TABLA 9: Resultados Obtenidos en el alimentador Z3.....</b>	<b>39</b>
<b>TABLA 10: Resultados Obtenidos en el Alimentador Z4 .....</b>	<b>40</b>

## Resumen

Durante el trabajo realizado en la Subestación La Esperanza se cuenta con el objetivo de mejorar el factor de potencia con la ubicación de bancos de condensadores en los alimentadores primarios; Teniendo en cuenta el apoyo brindado por parte de Emelnorte específicamente en el departamento de planificación. Por ende, conseguir la información y la metodología correspondiente para la aplicación del estudio.

La información es necesaria para el trabajo corresponde a los alimentadores primarios; son entregadas por el departamento de Calidad de Energía y Estudios Eléctricos. Para el desarrollo del estudio de la ubicación optima de capacitores en los alimentadores primarios es necesario adquirir conocimientos previos del manejo del software CYMDIST y ArcGIS, ya que son fundamentales para la modelación de los alimentadores primarios con sus características y topologías de estos elementos; en donde también se utilizara diferentes módulos dentro de los software entre los cuales destacaremos para el estudio los módulos de distribución de carga, ubicación de condensadores y flujo de carga para obtener nuestros resultados previos como finales con la información más relevante de cada alimentador. Haciendo que el sistema de distribución cuente con un servicio eléctrico de calidad, obteniendo los mejores beneficios para las redes eléctricas y sus consumidores cumpliendo así los parámetros de calidad establecidos por la regulación ARCERNNR 005/20 en los valores de voltaje y el valor de factor de potencia mínimo establecido por el CENACE con un valor mínimo de 0,96.

Palabras clave: Subestación, Alimentador primario, Capacitores, CYMDIST, ArcGIS, Regulaciones, CENACE, ARCERNNR.



## **Abstratc**

During the work carried out in the La Esperanza Substation, the objective was to improve the power factor with the location of capacitor banks in the primary feeders; Considering the support provided by Emelnorte specifically in the planning department. Therefore, get the information and the corresponding methodology for the application of the study.

The information is necessary for this work that corresponds to the primary feeders; They are delivered by the Department of Energy Quality and Electrical Studies. In order to development of the study of the optimal location of capacitors in the primary feeders it was necessary to acquire previous knowledge of the management of CYMDIST and ArcGIS software, they are fundamental for the modeling of the primary feeders with their characteristics and topologies of these elements; where different modules will be used within the software too, among which we will highlight for the study the load distribution modules, capacitor location and load flow to obtain our previous and final results with the most relevant information of each feeder. Making the distribution system has a quality electrical service, obtaining the best benefits for the electrical networks and their consumers, thus fulfilling with the quality parameters established by the ARCERNNR 005/20 regulation in the voltage values and the value of the factor of minimum power established by CENACE with a minimum value of 0.96.

Keywords: Substation, Primary Feeder, Capacitors, CYMDIST, ArcGIS, Regulation, CENACE, ARCERNNR,

## CONTEXTUALIZACIÓN

“El CENACE, emite un comunicado donde señala que el sistema nacional interconectado (S.N.I), se encuentra operando al límite de los criterios de economía, seguridad y calidad”. (Emelnorte S.A., 2019)

En Emelnorte, se viene identificando varios problemas de bajo factor de potencia en los puntos de conexión de la subestación La Esperanza, esto debido a que en esta zona se han instalado industrias tanto lácteas como florícolas específicamente en los cantones de Cayambe y Pedro Moncayo, cuya carga tiene compensación reactiva en la subestación. Lo que obliga a Emelnorte a mejorar el factor de potencia de los alimentadores primarios de la S/E La Esperanza. (Emelnorte S.A., 2019)

Debido a varios factores entre los que se mencionan el incumplimiento por partes de las empresas distribuidoras por bajo factor de potencia, ya que no se está cumpliendo con los valores establecidos en la regulación ARCERNR 005/20 Transacciones de potencia reactiva en el MEM, se establece la responsabilidad de CENACE” ... de fijar los niveles de voltaje en cada barra del SNT y los valores del factor de potencia que deben presentar los distribuidores y grandes consumidores en sus puntos de conexión con el transmisor o distribuidor según corresponda...” (ARCERNR, 2021)

Los capacitores ayudaran a mejorar el factor de potencia del sistema de distribución, de la subestación la esperanza. Así como también ayudara a mejorar los niveles de voltaje, la prioridad de este estudio es mejorar el factor de potencia. (Estrada Soria et al., 2005)

Los detalles sobre el uso de la compensación en derivación en cada alimentador usualmente son parte de los estudios de ingeniería previos a su incorporación al sistema. El grado de precisión de estos estudios depende de los efectos tomados en cuenta, así como de las herramientas aplicadas para la solución. Los métodos más precisos incluyen aspectos reales de alimentadores, tales como las secciones de alimentadores no uniformes, carga distribuida no uniformemente y variación en la demanda solicitada por la carga. (GRAJALES OTALVARO, 2014).

Para una completa modelación de los diversos elementos integrantes de la red de distribución eléctrica. El control de tensión y potencia reactiva, utilizando condensadores y reguladores de voltaje que permiten ubicar y dimensionar bancos de condensadores reduciendo pérdidas y caídas del nivel de voltaje. Se determina el mínimo banco de condensadores requeridos, así como estrategias de conexión y desconexión que permitan

responder en forma diaria, semanal y mensual a los cambios de carga reactiva que se producen en el sistema. (Sdde et al., 2015)

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

De acuerdo con lo que se ha venido evidenciando en el País existe un incremento de industrias, en el sector de Cayambe y Pedro Moncayo, en donde se muestra un incremento de carga considerable en estos puntos de referencia del sistema de distribución de Emelnorte S.A. que en la actualidad presenta problemas con el factor de potencia en los estudios realizados por parte de la empresa distribuidora en la S/E La Esperanza.

La subestación la esperanza evidencia un bajo factor de potencia menor a 0.96, que emite los estudios realizados por el (CENACE, 2018), lo cual provoca inconformidad en sus usuarios ya que pueden presentar un escenario crítico; En el cual las maquinas no funcionan correctamente y no pueden cumplir con la eficiencia necesaria para cada uno de sus trabajos.

Debido a esto se analiza la ubicación optima ubicación de un banco de capacitores para mejorar el factor de potencia en Cayambe y Pedro Moncayo, de los alimentadores de la S/E La Esperanza, para cumplir con los rangos permisibles de operación y no presentar un escenario crítico.

Dado que Emelnorte no cuenta con compensación reactiva en los alimentadores primarios, de toda el área de concesión de Emelnorte lo cual se puede evidenciar con pérdidas tanto económicas como de energía eléctrica ya que no se brinda un buen uso de esta.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Realizar el Estudio para la ubicación óptima para un banco de capacitores en la S/E La Esperanza, de la Empresa Eléctrica Regional Norte, EMELNORTE S.A. mediante la modelación de los alimentadores primarios para mejorar el factor de potencia.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Analizar el factor de potencia en la salida de los alimentadores de la Subestación la esperanza para determinar los circuitos que incumplen con el límite establecido en la regulación vigente.
- Determinar la ubicación óptima de un banco de capacitores, utilizando el modo iterativo con el que cuenta el software CYMDIST.
- Realizar un manual de procedimientos para la ubicación optima de capacitores en los alimentadores de la Subestación La Esperanza de la Empresa Regional Norte.

## **ALCANCE**

El estudio va a ser aplicado en los alimentadores de la S/E la Esperanza, de media tensión para mejorar el factor de potencia mediante el dimensionamiento de su capacidad, ubicación optima y tipo de banco de capacitores.

Para esto se utilizará el software CYMDIST y la información proporcionada por Emelnorte donde podremos conocer el estado actual de los alimentadores, a partir del registro de las mediciones obtenidas de los medidores ubicados en las cabeceras de los alimentadores obteniendo así el factor de potencia actual el cual deberá ser corregido en caso de estar fuera del límite que proporciona los estudios del CENACE.

En el campo técnico y económico se considerará solo capacidades comerciales para no generar gastos innecesarios, ya que con esto se determinará una solución satisfactoria que esté al alcance de las inversiones de la empresa.

## **JUSTIFICACIÓN**

En el Ecuador, el gobierno ha impulsado políticas para incentivar la mejora energética y satisfacer los conceptos de calidad, confiabilidad y eficiencia en el suministro de energía eléctrica.

Este estudio se fundamenta en la corrección del factor de potencia para mejorar la calidad del suministro energético en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo, para que la operación del sistema de distribución sea eficiente, con lo cual se obtiene beneficios económicos; Esto con el objetivo de reducir el consumo de energía reactiva del sistema nacional interconectado y de esta manera Emelnorte pueda ahorrar por concepto de transacciones de potencia reactiva en el mercado eléctrico.

Además, se cuenta con el desarrollo de una metodología que sirva de base para estudios posteriores de la misma índole, con lo que se establecerá un precedente para un plan de optimización del sistema de distribución, de esta manera fomentar mejores prácticas y experiencias para la empresa distribuidora.

## **VIABILIDAD**

El convenio entre Emelnorte y la Universidad Técnica del Norte dice promover algunas actividades como trabajos de grado, dentro del área de conocimiento que se practica en cada una de las entidades del presente convenio, por lo tanto:

La investigación es factible, ya que Emelnorte dotara las herramientas necesarias para analizar los alimentadores de la S/E la esperanza, y poder determinar la ubicación de un banco de capacitores, para poder cumplir con la calidad del servicio eléctrico, en donde podemos acceder a la información y el software CYMDIST, conjuntamente con los ingenieros del “departamento de planificación y estudios eléctricos”, con el fin de realizar el estudio para corregir los problemas que puedan presentarse en un corto y mediano plazo, siendo esta la ubicación y dimensionamiento de capacitores cuando los alimentadores cuenten con un bajo factor de potencia.

# CAPÍTULO 1

## Marco Teórico

### 1.1 Sistema eléctrico

De acuerdo con (Ramírez Castaño, 2004) “Un sistema eléctrico de potencia incluye las etapas de generación, transmisión, distribución, y la función principal es llevar la energía desde los centros de generación hasta los centros de consumo para entregar al usuario en forma segura y con niveles de calidad exigidos”.

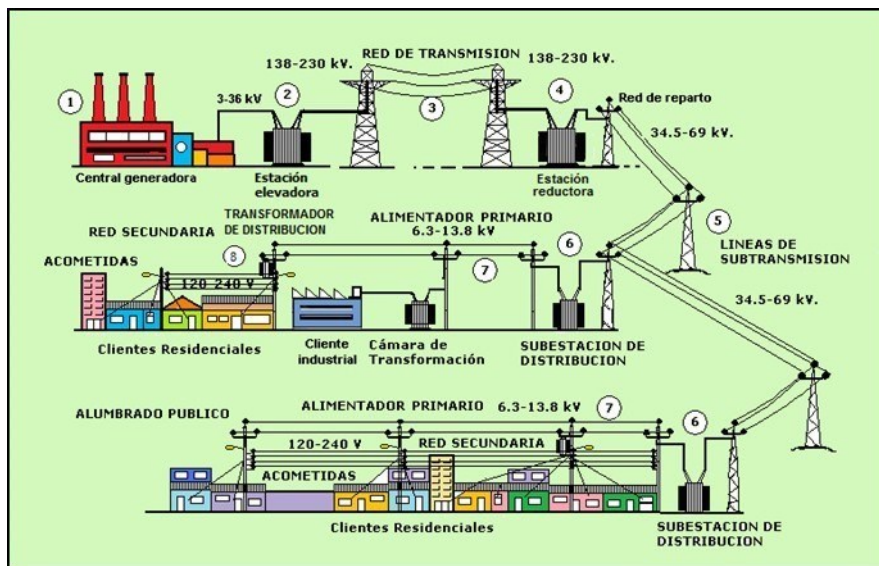


Fig. 1 Estructura de Sistema Eléctrico de Potencia

Fuente:(Nolivos, 2015)

En la Figura 1 se muestra un sistema eléctrico, con sus diversas etapas donde se puede identificar los diferentes elementos con los que cuenta la energía eléctrica, para llegar al usuario final de forma segura, eficiente y de calidad.

### 12 Sistema de generación

“Se obtiene energía eléctrica mediante la conversión de otro tipo de energía utilizando maquinas eléctricas rotatorias, generadores síncronos o alternadores, entre las principales fuentes de energías tenemos: hidroeléctricas, geotérmicas, termoeléctricas, solares, eólicas, etc. dentro de un sistema eléctrico” (Vásquez Granda, 2014)

### **1.3 Sistema de transmisión**

La transmisión eléctrica en el Ecuador se efectúa mediante el Sistema Nacional Interconectado (SNI), en los cuales los voltajes fijados en el Ecuador son 138, 230 y 500 kV, en los centros de generación. Las líneas de transmisión son los encargados de llevar la energía eléctrica a los siguientes sistemas. (Farinango, 2019)

### **1.4 Sistema de subtransmisión**

En el País el sistema de subtransmisión se encuentra limitado entre las subestaciones de transmisión y la subestación de subtransmisión, donde 69, 46 34,5 kV, es el alto voltaje y la subestación reduce este nivel de voltaje a los niveles de 13,8 kV que tiene EMELNORTE S.A. (Farinango, 2019)

### **1.5 Sistema de distribución**

El sistema de distribución eléctrica incluye todos los elementos de transporte de la energía eléctrica desde las subestaciones primarias, donde los niveles de voltaje se reducen a niveles de distribución, hasta los transformadores de distribución de acuerdo con el nivel de tensión que comprende de 13,8 y 22 kV en media tensión y 120/240V monofásico en baja tensión monofásico y 127/220V en trifásico hasta llegar al consumidor final. (Farinango, 2019)

Para (Mullo Tarco & Herrera Moreno, 2018), una clasificación primordial de un sistema de distribución cuenta con:

- Subestación de distribución
- Alimentadores primarios
- Transformadores de distribución
- Redes secundarias

#### **1.5.1 Subestación de distribución**

La principal característica de este tipo de subestaciones es que por medio de su transformador de potencia reducen el nivel de voltaje proveniente de sistema de subtransmisión de 69 kV a un voltaje de 13,8 kV para abastecer a los alimentadores primarios de la red de distribución (Rosero Valarezo, 2019) la subestación de distribución cuenta con un transformador de potencia, donde se reducen los voltajes que se reciben de las líneas de subtransmisión, de esta manera se da origen a los circuitos primarios.



## **1.52 Alimentador primario**

Es un circuito de distribución al cual suministra energía desde un solo punto de la subestación; opera con el voltaje primario de distribución y cumple con la función de distribuir la energía por sus diversas derivaciones de acuerdo al área de servicio asignada a la subestación (Rosero Valarezo, 2019) son los circuitos que recorren los sectores dentro del área de concesión de la empresa distribuidora hasta llegar a los transformadores de distribución, además están compuestos por troncales y ramales laterales EMELNORTE S.A. utiliza los niveles de voltaje es de 13,800/7960.

## **1.53 Transformadores de distribución**

Según (Rosero Valarezo, 2019), cumple una de las funciones más importantes del sistema eléctrico de distribución, ya que reduce el voltaje proveniente de la red de media tensión para uso comercial, residencial y en alumbrado público, para de esta forma ser aprovechado por las cargas con las que cuenta cada cliente. Los niveles de voltaje que utiliza EMELNORTE S.A en sistemas monofásicos es de 120/240V y en sistemas trifásico 127/220V.

## **1.54 Redes secundarias**

Son circuitos eléctricos monofásicos o trifásicos que obtienen energía del devanado secundario del transformador de distribución, sirve para proveer de energía eléctrica a los diferentes tipos de clientes a través de las acometidas (Rosero Valarezo, 2019) los circuitos eléctricos en baja tensión pueden ser monofásicos o trifásicos que se obtiene de la salida del segundo devanado del transformador de distribución por medio de acometidas para completar el ciclo de un SEP.

## **1.6 Clasificación de alimentadores primarios de acuerdo con el tipo de red**

Según (Ramírez Castaño, 2004) Los alimentadores primarios pueden ser aéreos o subterráneos y cuentan con las siguientes partes principales:

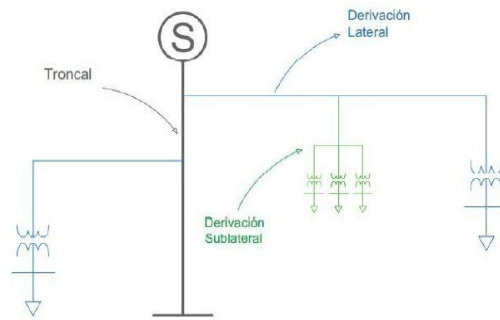


Fig. 2 Partes de un alimentador primario

Fuente: (Itaz Alcuacer, 2019)

- **Troncal:** es la parte del alimentador donde se concentra la mayor circulación de corriente de todo el circuito.
- **Derivación lateral:** es un desvío que emerge desde la troncal y maneja menor corriente que en la troncal.
- **Derivación sublateral:** es una bifurcación que empieza a partir de la derivación lateral y será el circuito con menor capacidad ya que alimenta a pocos alimentadores

En Ecuador la forma de los alimentadores primarios puede ser variadas y las más utilizadas son las siguientes:

### 1.6.1 Alimentador Primario Radial

Según (Itaz Alcuacer, 2019), el alimentador primario empieza desde una subestación y en su recorrido no se transpone con una subestación u otro alimentador, de tal manera que la energía llega a varios transformadores individualmente como se muestra en la Figura 3.

Este tipo de red cuenta con las mejores ventajas de construcción por la forma simple, sencilla de construir e instalar como también las ventajas económicas. Esta configuración es ideal para zonas rurales con bajas o medias densidades de carga y que abarquen grandes distancias. (Itaz Alcuacer, 2019)

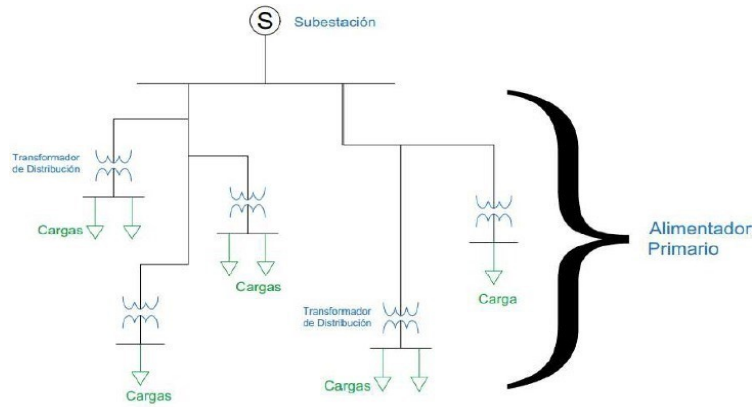


Fig. 3 Alimentador primario radial

Fuente: (Itaz Alcuacer, 2019)

La principal desventaja de los sistemas radiales, que al presentarse una falla todos los clientes de no podrán disponer de energía eléctrica durante el tiempo que persista la falla, pero pueden presentar una gran confiabilidad. (Ordoñez & Nieto, 2010)

## 1.6.2 Alimentador Primario Anillo

Cuenta con características similares al alimentador del sistema radial, con la diferencia que este si dispone de una conexión con varios alimentadores como se muestra en la Figura 4.

El sistema de distribución eléctrica con alimentadores primarios con configuración radial se puede superar con la configuración en anillo. Ya que si un alimentador presenta una falla o se encuentra en mantenimiento esta configuración permitirá suministrar energía proveniente de otros alimentadores o subestaciones. De tal forma que el suministro de energía eléctrica a los clientes no se ve afectado en caso de presentarse una falla. (Itaz Alcuacer, 2019)

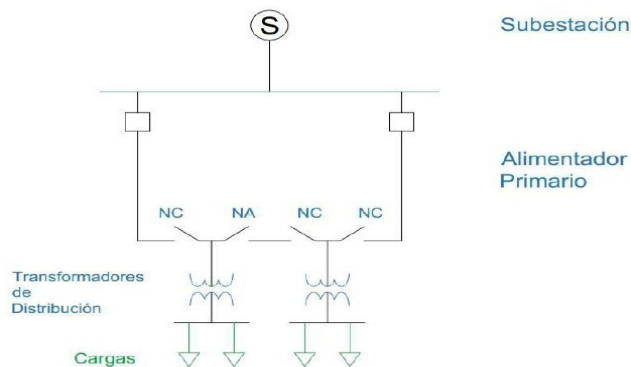


Fig. 4 Alimentador primario en anillo

Fuente: (Itaz Alcuacer, 2019)

El sistema en anillo cuenta con mejor continuidad del servicio eléctrico que en el sistema radial presentando interrupciones cortas producidas por conexión o desconexión por lo tanto el sistema es más costoso y complejo en sus operaciones.

### 1.6.3 Alimentador Primario Mallado

Como se muestra en la Figura 5, el alimentador primario en malla presenta una mayor cantidad de interconexiones, esto mejora en gran medida la confiabilidad, pero obviamente el costo aumenta considerablemente y cuenta con mayor complejidad en protecciones ya que parte a partir de muchas interconexiones no únicamente de subestaciones y alimentadores adyacentes. La eficiencia de este tipo de red es mayor a los anteriores sistemas (Itaz Alcuacer, 2019).

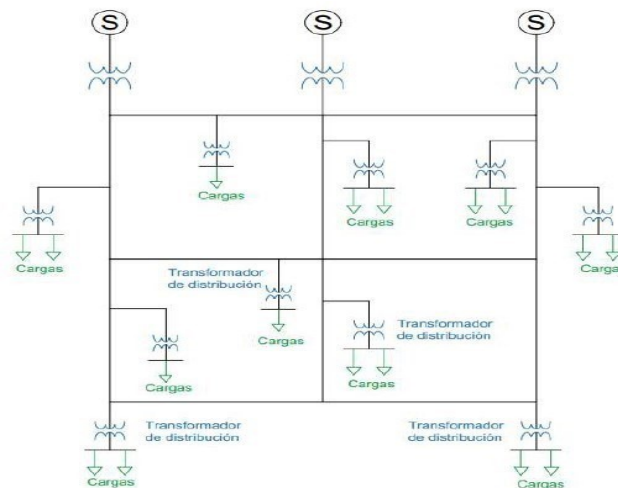


Fig. 5 Alimentador Primario Mallado

Fuente: (Itaz Alcuacer, 2019)

## 1.7 Tipos de Carga en Alimentadores

Los alimentadores primarios cuentan con cargas lineales y cargas no lineales a lo largo del sistema de distribución.

### 1.7.1 Cargas lineales

Las cargas lineales son cuando se aplica un voltaje senoidal directamente a los tipos de cargas que pueden ser resistivas, inductivas, capacitivas o mixtas por lo que se genera una corriente senoidal de acuerdo con los componentes que integren podrán estar o no en fase con el voltaje. (Ruggero Ríos Bruno, 2014)

- **Cargas resistivas:** la energía que requiere para funcionar puede ser transformada en energía calorífica o energía lumínica tales como lámparas incandescentes, planchas y cocinas eléctricas.
- **Cargas inductivas:** están constituidas por bobinados que pueden generar campo magnético por medio de la corriente como por ejemplo motores, balastos, transformadores entre otros.
- **Cargas capacitivas:** el principal componente son los capacitores, los cuales se encargan de almacenar energía en sus placas bimetálicas.
- **Cargas mixtas:** en un sistema eléctrico los circuitos cuentan con una combinación tanto de cargas resistivas con cargas inductivas o capacitivas. (Arcos Esteban & Chicaiza Diego, 2015).

### 1.7.2 Cargas no lineales

La principal característica de las cargas no lineales es que la curva de voltaje – corriente de la carga donde el comportamiento nos indicara si es o no lineal y otra característica que se debe tener en cuenta es que no todos los dispositivos semiconductores son no lineales. (Ruggero Ríos Bruno, 2014)

### 1.8 Triangulo de potencia

El triángulo de potencias como se muestra en la Figura 6, está compuesto por la potencia activa (P) expresada en kW, la potencia reactiva (Q) expresada en kVAR, y la potencia aparente (S) expresada en kVA y finalmente también nos muestra el factor de potencia o también conocido como el  $\cos \varphi$  en un sistema eléctrico de corriente alterna.

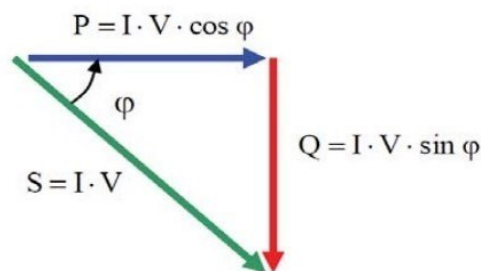


Fig. 6 Triangulo de potencias

Fuente: (Huacasi Joel & Choquecahuana Elvis, 2016)

En un circuito trifásico las potencias se pueden encontrar con las siguientes ecuaciones:

$$P = \sqrt{3} \cdot V_{l.l.} \cdot \cos \varphi \text{ (kW)} \quad (1)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot \bar{V} \cdot I \cdot \text{sen } \varphi \text{ (kVAR)} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot \bar{V} \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ (KVA)} \quad (3)$$

## 1.9 Factor de potencia

El factor de potencia o el  $\cos \varphi$ , es el ángulo que se forma entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), es decir la potencia real de trabajo con la potencia consumida por la carga en un sistema eléctrico de corriente alterna cuyo valor esta fluctuando entre 0 y 1 y lo podemos calcular con la siguiente ecuación:

$$FP = \frac{P}{S} \cos \varphi \quad (4)$$

Donde:

FP = Factor de potencia

P = Potencia activa

S = Potencia Reactiva

$\cos \varphi$  = Coseno del ángulo entre las potencias

### 1.10 Regulación 005/20 Régimen de las transacciones comerciales en el sector eléctrico ecuatoriano de potencia reactiva

En el Ecuador por velar el cumplimiento de las normas del ARCONEL, (Agencia de Regulación y Control de Electricidad), actualmente ARCERNNR (Agencia de regulación y Control de energía y Recursos Naturales No Renovables), es el ente encargado de crear reglamentos que establezcan los límites y demás aspectos que garanticen la calidad de energía.

El 23 de noviembre del 2020, el ARCERNNR puso en funcionamiento la Regulación ARCERNNR 005/20 Transacciones de Potencia Reactiva en el MEM, se establece la responsabilidad de CENACE "...de fijar los niveles de voltaje en cada barra del SNT y los valores del factor de potencia que deben presentar los Distribuidores y Grandes

Consumidores en sus puntos de conexión con el Transmisor o Distribuidor, según corresponda...” (ARCERNNR, 2021).

### **1.10.1 Distribuidores y grandes consumidores**

De acuerdo con (ARCERNNR, 2021), Los distribuidores y grandes consumidores deben comprometer en cada uno de sus nodos (barras) de interconexión con el transportista u otros agentes del MEM, un factor de potencia, que será determinado por el CONELEC sobre la base de un estudio conjunto CENACE – Distribuidor y tomando como referencia el Plan de Expansión presentado por como respaldo al cálculo del VAD. Los valores límites del factor de potencia se lo determinara sin tomar en cuenta el efecto de cualquier generación insertada en la red del Distribuidor.

La información que se debe entregar al CENACE es:

Factor de potencia en horas de demanda mínima, media y punta, en los nodos de interconexión

Puntos de intersección donde no pueda cumplir con el factor de potencia requerido y su causa, como resultado de los estudios mencionados anteriormente.

Equipo para control de voltaje y suministro de potencia reactiva que dispongan y los cuales puedan cumplir con el factor de potencia comprometido en los nodos de interconexión

Corregir o levantar las restricciones en los nodos en donde no se pueda cumplir con el control de voltaje dentro de los plazos establecidos en los estudios.

### **1.10.2 Niveles de voltaje y factor de potencia**

El CENACE deberá presentar al ARCERNNR, de acuerdo con lo indicado al numeral anterior, el estudio conjunto con los agentes del MEM, a efectos de fijar los niveles de voltaje en cada barra del SNT y los valores del factor de potencia que deben presentar los distribuidores y grandes consumidores en sus puntos de conexión con el Transmisor o Distribuidor, según corresponda. (ARCERNNR, 2021)

El estudio deberá ser actualizado por el CENACE, por lo menos una vez al año o cuando se produzcan cambios importantes en la topología del sistema o por la incorporación de nuevas unidades de generación en el mercado.

El CENACE utilizara la mejor información disponible hasta los generadores, Distribuidores y Grandes Consumidores y el Transmisor cumplan con suministrar lo



señalado en este numeral. Toda la información entregada por los agentes estará sujeta a verificación del CENACE (ARCERNNR, 2021)

La fijación de los valores del nivel de voltaje y factor de potencia será realizada por el ARCONEL actualmente (ARCERNNR), sobre la base del estudio mencionado en el numeral y comunicado a la corporación del CENACE por el director Ejecutivo del CONELEC.

### **1.10.3 Suministro de potencia reactiva**

Según la (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2016), el agente del MEM, deberá suministrar la potencia reactiva, cumpliendo con lo establecido en el numeral 21, con su propio equipamiento. En caso de que dicho equipamiento fuera insuficiente, o estuviera indisponible, el CENACE, determinara la operación de un equipamiento adicional disponible de otros agentes para así cumplir con el control de voltaje requerido.

Sin perjuicio de lo anotado en el párrafo anterior, el agente que este incumpliendo con los valores fijados por el CENACE, para corregir dicho incumplimiento, podrá contratar con otro agente para sustituir su obligación de suministro de potencia reactiva.

El agente que suministre potencia adicional, luego de cumplir con los parámetros de calidad obligatorios, será remunerado por dicha producción de potencia reactiva, siempre y cuando dicha potencia reactiva sea puesta a disposición del CENACE, para su operación y control.

### **1.10.4 Magnitud de potencia reactiva remunerable disponible**

Considera la potencia reactiva, inductiva y capacitiva, puesta a disposición por cada agente que posea un equipo exclusivo para el control de voltaje. Esta potencia estará disponible en exceso el agente, una vez que haya cumplido con los índices obligatorios de calidad. La magnitud por utilizar, de la potencia activa puesta a disposición por cada agente, la determinara el CENACE, dentro de la planificación operativa y despacho económico, considerando criterios técnicos y económicos, tal como los señalan respectivamente los artículos 6 y 8 del reglamento de despacho de operación. El equipamiento que considere el CENACE será aquel declarado por los Generadores, Transmisor, Distribuidores y grandes consumidores cumpliendo lo dispuesto con lo dispuesto en el artículo 28 del reglamento para el funcionamiento del MEM. (ARCERNNR, 2021)

## 1.11 Estudio CENACE límites del factor de potencia

El presente estudio del 2018 tiene como finalidad determinar los factores de potencia requeridos en los puntos de entrega del Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.), barras de 69 kV, y que deben ser cumplidos por las empresas de distribución, con el fin de preservar condiciones de calidad y seguridad en el S.N.I., manteniendo los voltajes dentro de los límites (CENACE, 2018).

### 1.11.1 Factor de potencia

“El factor de potencia que se ha determinado como límite mínimo que es capaz de soportar el Sistema Nacional Interconectado es de 0,96 inductivo, con la finalidad de mantener condiciones de calidad y seguridad” (CENACE, 2018).

TABLA 1: Factor de potencia en puntos de entrega del S.N.T.

<b>Demanda</b>	<b>Demanda máxima</b>	<b>Demanda media</b>	<b>Demanda mínima</b>
<b>Factor de potencia</b>	0,96 inductivo o superior inductivo	0,96 inductivo o superior inductivo	0,96 inductivo o superior inductivo

Fuente: (CENACE, 2018)

### 1.11.2 Determinación factor de potencia

El mínimo factor de potencia es determinado al momento en que el voltaje y las barras del S.N.T., incursiona en los límites inferiores de operación en condiciones normales y sin recursos, es decir que los valores del voltaje entran al rango B, en donde no se garantiza una operación segura del sistema de contingencias N-1, estos análisis se realizan en demandas medias por ser el escenario más crítico variando el factor de potencia desde 0,93 hasta obtener los resultados expuestos (CENACE, 2018).

“Otro factor a tomar en cuenta es durante las condiciones normales de operación se disponga de reservas de potencia reactiva en las unidades de generación, para responder ante contingencias N-1” (CENACE, 2018).

TABLA 2: Voltajes en el S.N.I. para diferentes valores de factor de potencia de Emelnorte

BARRA	Voltajes (kV)				
	FP	FP 0,96 p.u.	FP 0,95 p.u.	FP 0,94 p.u.	FP 0,93 p.u.
Ibarra 138 kV	134,79	131,75	128,46	124,20	126,82
Ibarra 69 kV	68,92	67,75	65,80	63,32	65,68
Tulcán 138 kV	133,96	130,92	127,46	123,00	127,60
Tulcán 69 kV	68,98	67,42	65,54	63,12	65,46

Fuente: (CENACE, 2018)

Tal como se muestra en los resultados, los factores de potencia menores a 0,95 p.u., se observan voltajes por debajo a lo establecido para condiciones normales de operación y con muy baja reserva de reactivos en las unidades de generación, por lo que los factores de potencia para los diferentes escenarios de demanda de cumplir con los límites del factor establecidos en la tabla 1 (CENACE, 2018).

## 1.12 Tipos de compensación reactiva en sistemas de distribución

“Para compensar la potencia reactiva en un sistema de distribución existen varias maneras por las que se puede profundizar y alcanzar el objetivo planteado” (Preciado Yépez, 2019), las formas para la compensación reactiva son:

- **Maquinas Síncronas:** Operan con factor de potencia capacitivos generando un incremento de tensión al igual que la elevación de la corriente de campo. Esta forma de compensación reactiva si se pudiera suministrar tanto la potencia activa y reactiva en el mismo tiempo. Pesto que la entrega solamente de reactivos por parte de la maquina produce el deterioro de la máquina.
- **Capacitores en Serie:** Son usados principalmente para reducir la componente inductiva de la impedancia que surgen de las líneas de los consumidores finales. El nivel de tensión en el que son usados es alto, como en el sistema de transmisión ya que la reactancia cuenta con valores bastante altos en este punto. Este tipo de capacitores no son muy usados en los sistemas de distribución ya que se puede presentar las siguientes características: transitorios de la tensión, ferro-resonancia en transformadores cercanos, resonancia subsincrona en arranque de motores y la difícil elección en el sistema de protecciones debido a las corrientes de falla del sistema. (Francisco Pérez, 2013)

- **Capacitores en Paralelo:** Estos capacitores son utilizados ampliamente en el sistema de distribución. Los capacitores en paralelo entregan VARs desde el punto de la instalación hasta la subestación, mejorando el factor de potencia a través de la reducción de la componente reactiva de la corriente. Esta reducción refleja reducción de pérdidas, liberación de capacidad asociada a conductores y transformadores y también ayuda a la recuperación del perfil de la tensión. (Pérez Ayala, 2018)

### 1.13 Banco de capacitores

“Los capacitores son dispositivos eléctricos que están formados por dos placas conductoras aisladas y separadas por un dieléctrico. Este dispositivo puede almacenar energía en forma de campo eléctrico” (Clavijo, 2015).

Según (Alberto et al., 2006), Los bancos de capacitores, son instalados en los sistemas de distribución en paralelo para reducir pérdidas de energía y potencia, mejorar el perfil de voltaje, mejorar el factor de potencia, aumentar la capacidad de transporte en las líneas de distribución. Con lo que se referencia que los bancos de capacitores son los principales opcionados para resolver los problemas operativos en los sistemas de distribución además pueden ser instalados en puntos estratégicos para obtener los mejores resultados.

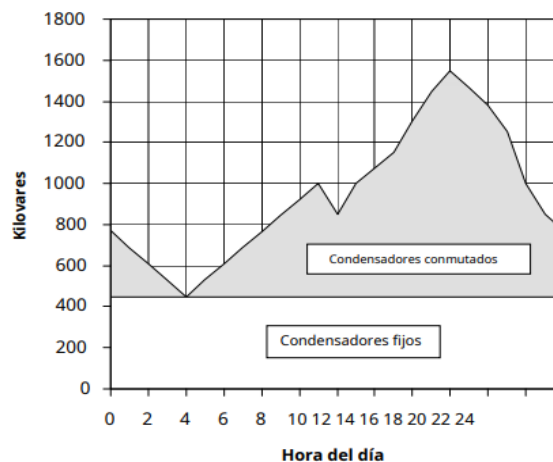


Fig. 7 Tipos de condensadores

Fuente:(IEEE, 2010)

Dentro de los cuales podremos destacar los capacitores fijos y pueden estar en servicio a tiempo completo, o pueden ser desconectables, capacitores variables cuyo caso pueden adaptarse a las condiciones que sea necesarias por los diferentes métodos de control que estos presentan. En la figura 7, se muestra los escenarios sobre donde se instalarán los bancos de capacitores, sobre una curva de demanda de potencia reactiva.

En general para determinar el tipo de banco requerido se puede considerar lo siguiente:

- Los bancos de capacitores fijos son dimensionados para condiciones de carga mínima.
- Los bancos de capacitores desconectables están diseñados para ser instalados en niveles por encima de la carga mínima hasta la carga máxima.

#### 1.14 Control de bancos desconectables

Los bancos de capacitores desconectables o conmutables cuentan con varios criterios de control automático, entre los cuales varían el tipo la medición y el control de diferentes variables de acuerdo con lo expuesto por (Short, 2018):

- **Tiempo:** este tipo de control se lo utiliza cuando la potencia reactiva cuenta con una gran regularidad en el tiempo, por lo que se puede analizar los tramos u horas en los que se enciendan y apaguen automáticamente, este método no es del todo preciso no cuenta con una confiabilidad muy alta ya que la carga siempre varia alternadamente y no puede coincidir con el tiempo de programación, pero su gran ventaja es que cuenta con un control más simple con respecto a todos los sistemas.
- **Temperatura:** se relaciona con el cambio d temperatura cuando el aumenta el control de la demanda en VAR es muy estrecha.
- **Tensión:** se asocia principalmente con la regulación de la tensión cuando esta sea excesivamente alta o baja, por ende, se debe conocer los valores mínimos y máximos de la tensión requerida, así como también los retardos de tiempo y anchos de banda para evitar este tipo de operaciones.
- **VARs:** cuando la variación es muy importante, el método es uno de los más precisos para que el capacitor este trabajando en los tiempos adecuados para reducir las pérdidas.
- **Factor de Potencia:** tiene la similitud con el método anterior, modificando la medición por el factor de potencia. Este método es raramente utilizado por las empresas.
- **Corriente:** cabe mencionar que esta técnica no sea la adecuada ya que solo es utilizada en periodos de demanda alta, está relacionada directamente con la demanda en VAR.

## 1.15 Capacidades estándar

De acuerdo con la norma IEEE Std 18-2002 (IEEE, 2010) se cuenta con las siguientes especificaciones mostradas en la tabla expuesta en los anexos, pero los capacitores no pueden ser instalados sin que cumplan con las siguientes especificaciones:

110% del voltaje nominal

120% de la tensión de cresta nominal

135% de la corriente rms nominal basada en kvar nominal y voltaje nominal incluidas las corrientes fundamentales y armónicas

135% del kvar nominal

En la norma del (IEEE, 2010) se establece que debe contar con una tolerancia de -0% a + 15% para condensadores individuales con una temperatura interna de 25°C a partir de la edición 2002 se cuenta con una tolerancia de -0% a 10% a 25°C.

Y de acuerdo con (Gómez Morales, 2009), existen con 2 tipos de fabricación tanto monofásicos como trifásicos, incrementando un intervalo de 5 kVAr hasta 50 kVAr, de 10 kVAr hasta 100 kVAr y en saldos de 50 kVAr hasta llegar a 300 kVAr. Para contar con un valor adicional a los expuestos en el anexo 1, se requiere de una forma de construcción especial pero lo más importante es especificar la potencia con la que se va a operar el sistema.

## 1.16 Metodología para la ubicación de capacitores

En la actualidad existe varias posibilidades de implementar un banco de capacitores.

- **Algoritmos genéticos:** Resuelve problemas escogiendo las mejores soluciones entre una población y las hace evolucionar mediante mutaciones hasta tener la mejor solución posible. Casi siempre converge, sin importar demasiado las condiciones iniciales que en el Software que estén utilizando (Grandy Gonzales, 2015)
- **Optimización de la compensación y de la regulación:** Se busca llevar las funciones de compensación reactiva y de regulación del voltaje en la línea a sus valores óptimos según parámetros eléctricos y económicos (Grandy Gonzales, 2015)
- **Métodos iterativos:** Este método consiste en determinar las pérdidas de potencia del alimentador cuando no tiene medio alguno de compensación de

potencia reactiva, y después cuantifica las pérdidas de potencia correspondientes al caso cuando se instalan en el circuito uno, dos o varios bancos de capacitores en derivación, y así se determina la máxima reducción de pérdidas de potencia (Grandy Gonzales, 2015)

### 1.17 Métodos de ubicación de capacitores

Para la revista (CIRCUTOR S.A., 2016), La finalidad de corregir el factor de potencia es reducir el costo de la energía reactiva en la factura de electricidad. Para lograr esto es necesario distribuir las unidades capacitivas de acuerdo con lo requerido por el usuario en el medidor de potencia. Existen diferentes métodos de para mejorar o corregir el factor de potencia donde sobresalen la instalación de capacitores eléctricos

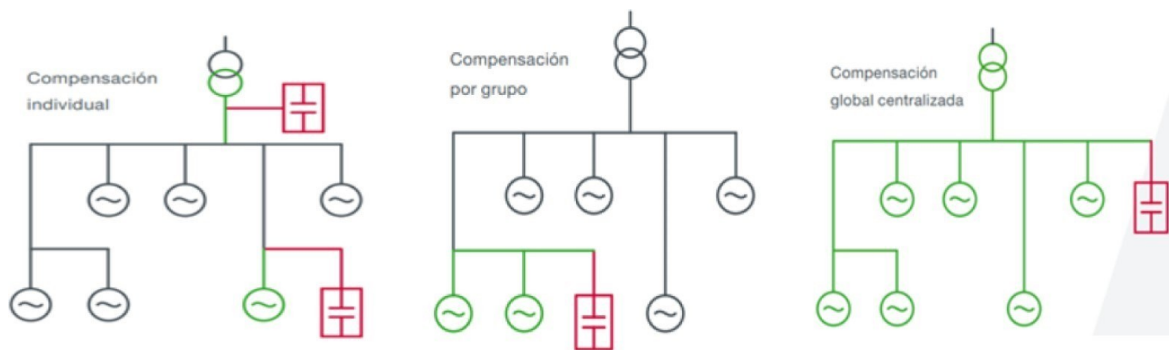


Fig. 8 Tipos de compensación

Fuente:(CIRCUTOR S.A., 2016)

- **Compensación individual:** Es el tipo de compensación directa a la maquina siendo la solución técnica óptima al reducir directamente el consumo de la energía reactiva en la carga, por lo general se utiliza para bombas motores o transformadores.
- **Compensación en grupos:** La compensación en grupo de cargas o instalaciones donde existe una distribución sectorizada y extensa. Es el complemento ideal de un sistema de compensación centralizado aumentando la capacidad de la línea que suministra al grupo de cargas compensadas.
- **Compensación central:** Esta conectada a la entrada general de la instalación, que es mayormente utilizada para la reducción de facturación eléctrica por recargos de energía reactiva.

### 1.18 Conexión de capacitores en redes de distribución

La configuración de un banco de capacitores debe contemplar un rango de 50 a 20 kVAR, para entregar la capacidad total del banco de condensadores, al emplear estos

equipos en los sistemas de distribución debemos compensar la potencia reactiva por los diferentes tipos de cargas o pérdidas que genera el sistema (Preciado Yépez, 2019).

Las diferentes configuraciones de conexiones de un banco de capacitores se la describen a continuación:

- Conexión delta.
- Conexión en estrella aterrizado o flotante.
- Conexión estrella doble.

### 1.18.1 Capacitores conectados en delta

En esta configuración la tensión debe ser de línea a línea en el sistema de distribución, ya que los capacitores cuentan con un rango de la tensión nominal del sistema.

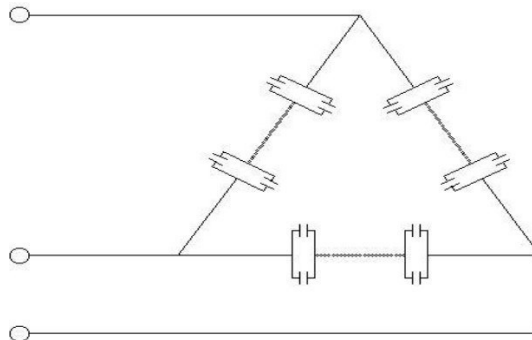


Fig. 9 Conexión capacitores en delta

Fuente: (Amaya, 2003)

Para obtener una correcta instalación de un banco de capacitores se debe mantener el sistema en delta, como se muestra en la Figura 9 (Preciado Yépez, 2019).

### 1.18.2 Conexión en estrella aterrizado

En la figura 10, se muestra la representación gráfica de la conexión a los sistemas de media y alta tensión optimizando el funcionamiento del sistema, con el cual nos permite reducir el aislamiento de fase y controlar las corrientes de cortocircuito.

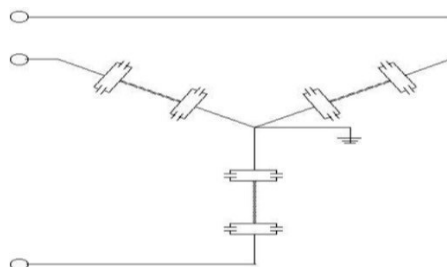


Fig. 10 Conexión capacitores en estrella aterrizados

Fuente:(Amaya, 2003)



Con esta configuración se debe tener en cuenta la conexión del neutro a tierra para que la corriente de falla no tenga mucho recorrido (Preciado Yépez, 2019).

### 1.18.3 Conexión de estrella flotante

Estos se pueden conectar en alimentadores primarios con fallas de cortocircuito con altas concurrencias garantizando el control del excesivo porcentaje de corriente que genera en estos casos. Ver la figura 11.

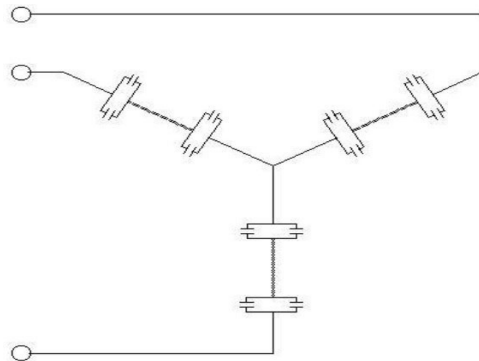


Fig. 11 Conexión capacitores en estrella flotante

Fuente:(Amaya, 2003)

Esta configuración es tomada en cuenta cuando las fallas siempre estén presentes, con lo cual generara un desbalance el cual incurrirá en el neutro, llegando a valores muy altos en su potencial limitando la impedancia a la corriente que se encuentren en las otras fases del sistema (Preciado Yépez, 2019).

### 1.18.4 Conexión estrella doble

En la Figura 12, se muestra la conexión de la cantidad de grupos en paralelo que están en grupos en paralelo que se encuentran entre los límites se recomienda dividir a un grupo de capacitores en 2 etapas conectadas en estrella en las cuales su potencial debe ser cero.

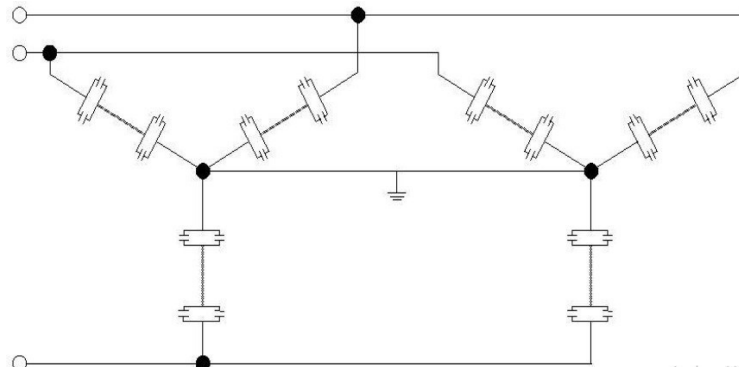


Fig. 12 Conexión capacitores en estrella doble

Fuente:(Amaya, 2003)

Las configuraciones anteriores el neutro se encuentra conectado de forma directa en una conexión común la cual se encarga de unir la conexión teniendo un futuro balance del neutro (Preciado Yépez, 2019).

### 1.19 Causas del bajo factor de potencia

Para (Wolfgang Hofmann, Jürgen Schlabbach, 2012), el mayor consumidor de potencia reactiva son equipos con núcleo de hierro, como los principales tendremos:

- Transformadores operando con poca carga o en vacío.
- Motores eléctricos asíncronos sobredimensionados que operan con poca carga o en vacío
- Lámparas fluorescentes de descarga no compensada.

### 1.20 Efectos del bajo factor de potencia

Cuando existe un flujo de potencia reactiva dentro del alimentador se puede presentar los siguientes inconvenientes expresados por (Hofmann et al., 2012):

- Sobrecargas en transformadores
- Caídas de tensión al final del alimentador.
- Pérdidas de potencia activa por el aumento de temperatura en los conductores.
- Sobredimensionamiento en dispositivos de protección armónica.

Al evaluar los aspectos técnicos anteriormente señalados se obtiene la importancia de los efectos en la economía de la empresa.

- Las pérdidas por el efecto Joule aumentan en conductores y máquinas que consuman gran corriente. Por ende, aumentan el costo de operación del sistema.
- Se generan gastos adicionales por la cargabilidad de transformadores, cables e interruptores ya que deben ser aumentadas.

- Debido a la caída de tensión y como las autoridades deben cumplir con los límites establecidos dentro de las regulaciones prescritas, y se debe incurrir en un costo adicional de cambio de equipos para compensar la caída de tensión. (Pérez Ayala, 2018)

## **1.21 Beneficio de la aplicación de bancos de capacitores**

Al instalar los bancos de capacitores, se cuenta con beneficios tanto para la empresa distribuidora como también para los usuarios, se cita los siguientes de acuerdo con (Mullo Tarco Katty Maribel, 2018)

- Capacidad liberada en subestaciones; requiere inyectar menos potencia reactiva al alimentador, así como los transformadores de potencia de la subestación se ven liberados en un cierto margen.
- Capacidad liberada en alimentador; existe menos exigencias térmicas sobre las líneas como consecuencia de la reducción de las corrientes y por lo tanto se dispone de una mayor capacidad de transmisión de potencia.
- Mejora el perfil de tensión; lo que refleja un servicio de calidad al cliente.
- Optimiza el factor de potencia; mitiga el pago de multas, sanciones impuestas por los organismos de control.

## **1.22 Modelación del sistema de distribución en Cymdist**

La evolución de los sistemas de distribución exige nuevos estudios de planificación con simulaciones que respalden las operaciones, en los que comprende estudios de protección y evaluaciones de interconexión.

El software CYME, es una herramienta que se utiliza para simular un sistema de distribución y contemplar las necesidades de la simulación en diferentes análisis de capacidad contingencia, calidad de energía y optimización. (CYME International, 2018)

### **1.22.1 Análisis del sistema de distribución**

CYMDIST es el paquete base para el análisis del sistema de distribución del software CYME. Agrupa todas las herramientas de modelado y análisis necesarios para realizar los diversos tipos de simulaciones involucradas en el sistema de distribución eléctrica. (CYME International, 2018)

El paquete de CYMDIST cuenta con los varios análisis:

- Flujo de carga desbalanceado
- Distribución y estimación de carga

- Análisis de fallas
- Balance de carga
- Dimensionamiento y ubicación óptima del condensador
- Arranque del motor
- Análisis por lotes

### **1.22.2 Modelado y representación**

El editor de red del software CYME, cuenta con la representación de todas las partes de una red de distribución, que incluye el sector primario MT, en el sistema secundario LV (radial o mallado), así como en el sistema de subtransmisión (CYME International, 2018).

### **1.22.3 Simulaciones con Cymdist**

“El paquete base de CYMDIST es una herramienta integral que proporciona aplicaciones clave para realizar estudios de planificación del sistema, simulaciones y análisis diarios” (CYME International, 2018).

En este software se encuentran amplias bibliotecas, modelos detallados y algoritmos alineados con las mejoras prácticas y estándares de la industria; y sobre la base de tecnologías de ingeniería innovadora. Su interfaz gráfica de usuario proporciona la representación, los resultados y los informes al nivel de detalle necesario (CYME International, 2018).

### **1.22.4 Dimensionamiento y ubicación óptima de condensadores**

Este análisis ayuda a determinar la ubicación ideal y el tamaño de los bancos de condensadores shunt para reducir las pérdidas de kW o mejorar la tensión del sistema mientras se mantiene un factor de potencia deseado. El usuario puede proporcionar condiciones respecto al tamaño, número y ubicaciones apropiadas de los bancos de condensadores y aprobar si los bancos recomendados deben instalarse o no (CYME International, 2018).

## CAPITULO 2

### 2 Metodología y situación actual

A continuación, se plasmará un recuento del sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Regional Norte más conocida como EMELNORTE S.A. donde se realizará las prácticas de la aplicación de capacitores en los alimentadores primarios de la subestación La Esperanza en con las mediciones obtenidas en las cabeceras de los alimentadores para obtener el estado actual de los alimentadores. Y finalmente de describirá la metodología que se utilizará para captar los mejores beneficios con este proyecto.

#### 21 Descripción del sistema eléctrico de EMELNORTE S.A.

Emelnorte S.A.; brinda el servicio eléctrico a través de la energía comprada al Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.) con un área total de 11862,1  $km^2$ , cabe resaltar que el 32% es correspondiente a la provincia de Carchi y cuenta con una cobertura eléctrica del 99,13% en la provincia del Carchi y con un 36% corresponde a la provincia de Imbabura con una cobertura de electrificación del 98.88% y una parte de la provincia de Pichincha como es el cantón Cayambe y Pedro Moncayo con el 12% del área y el 20% con la provincia de Sucumbíos.(ARCONEL, 2019)

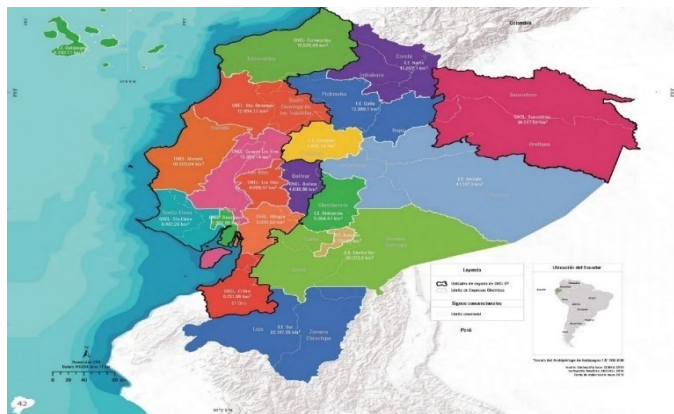


Fig. 13 Electrificación área de concesión Emelnorte

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018)

Emelnorte cuenta con un nivel de tensión de 69kV y 34,5kV, con una longitud total de 256,11 km y 17,59 km respectivamente. El sistema primario consta de 72 alimentadores que operan a 13,8 kV de tensión nominal los cuales son repartido por 15 subestaciones reductoras y 1 subestación de elevación de acuerdo con la estadística anual del 2018. (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018)

## 22 Descripción y situación actual de la Subestación La Esperanza

La subestación la esperanza se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha, en el cantón Pedro Moncayo y en la parroquia de Tabacundo y en el sector del mismo nombre del lugar. Como se muestra en la Figura 14.

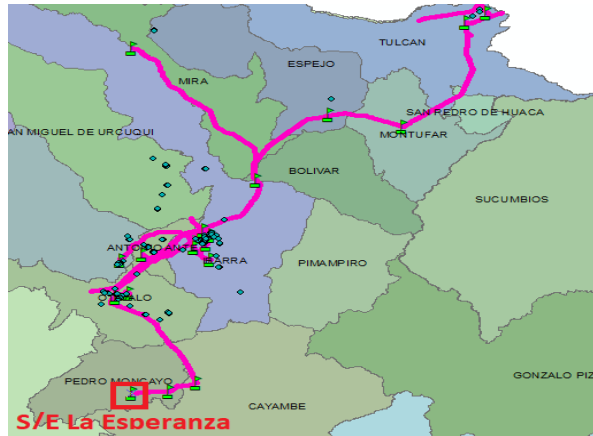


Fig. 14 Ubicación S/E La Esperanza

Fuente: Emelnorte

En la Figura 15, se puede observar el diagrama unifilar de cómo se encuentra la subestación actualmente, en donde se puede observar que está conectada desde la subestación Cayambe, conformada por un transformador de potencia de 10/12.5 MVA (ONAN/ONAF) siendo esta la capacidad nominal completa de la subestación, teniendo en cuenta que se muestran 5 alimentadores primarios y en donde el alimentador 5 se encuentran conectados dos bancos de capacitores de 1,2 MVar y 2,4 MVar conectados a la barra de 13.8 kV

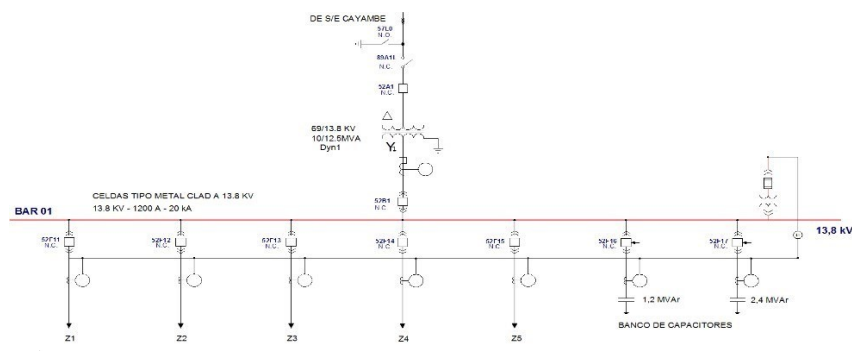


Fig. 15 Diagrama Unifilar S/E La Esperanza

Fuente: Emelnorte

El área de concesión de la subestación la esperanza en el sistema de distribución cuenta con la topografía mostrada en la Figura 16, cuentan en su mayoría con clientes tipo industrial y residencial. La capacidad de demanda con la que trabaja la subestación es de

10 MVA, repartida entre 4 alimentadores, el primero denominado Z1, el alimentador conocido como Z2, El alimentador Z3 y el alimentador Z4.

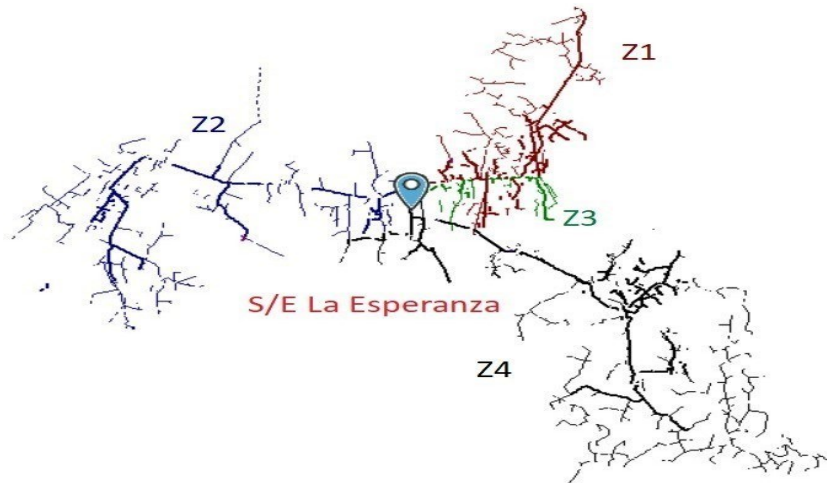


Fig. 16 Topología alimentadores de la subestación la esperanza

Fuente: Emelnorte

Dentro de la nomenclatura de Emelnorte se pueden expresar los alimentadores como se muestra en la Tabla 3.

TABLA 3: Alimentadores subestación la esperanza

Subestación	Código CYME	Nomenclatura
La Esperanza 1	ALIM-1300010T01	Z1
La Esperanza 2	ALIM-1300010T02	Z2
La Esperanza 3	ALIM-1300010T03	Z3
La Esperanza 4	ALIM-1300010T04	Z4

### 23 Demanda alimentadores

En el estudio se tomará como referencia los alimentadores de la subestación la esperanza conociendo el comportamiento tanto en demanda máxima, media y mínima como esta expresado en la Tabla 4 en kW en el rango de enero a diciembre del 2020, tomando como referencia los datos más significativos de cada alimentador.

TABLA 4: Demanda Alimentadores Subestación La Esperanza

Demandas Alimentadores S/E La Esperanza en kW			
Alimentadores	Demanda máxima	Demanda media	Demanda mínima
Z1	3954.91	1918.07	260.23
Z2	254.32	1301.20	228.91
Z3	1858.75	835.02	209.03
Z4	2347.89	1308.85	188.87

Fuente: Emelnorte

## 24 Factor de potencia

Se debe analizar el FP y se deberá considerar los alimentadores que presenten menores valores a los establecidos dentro de los estudios que realiza el CENACE de la Revisión de las bandas de variación de voltaje y factores de potencia en los puntos de entrega del Sistema Nacional de Transmisión (SNT) en la sección 1.2 cuyo valor es menor al 0,96 inductivo.

TABLA 5: Factor de Potencia Promedio Anual

Factor de Potencia Anual Alimentadores S/E La Esperanza			
Alimentadores	Demanda máxima	Demanda media	Demanda mínima
Z1	93,23	92,96	84,43
Z2	91,66	91,20	94,51
Z3	90.81	88.98	88,29
Z4	90.52	92.48	85,74

Fuente: Emelnorte

En la tabla 5, se exponen los datos de FP de los alimentadores expresados en demanda Máxima, Media y Mínima.

## 25 Curvas del factor de potencia

Una vez determinado el factor de potencia en los alimentadores expresados en la tabla 4, se genera curvas de factor de potencia de los alimentadores previamente seleccionados en demandas máximas del sistema anual con lo cual seleccionaremos el que presente el peor factor de potencia.



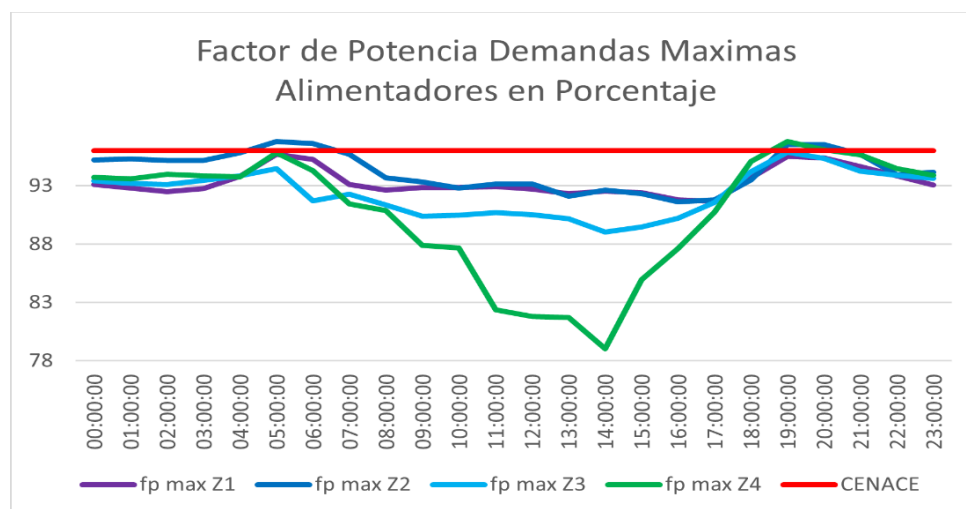


Fig. 17 Factor de potencia en demanda máxima

Fuente: Autor

En la Figura 17, podemos observar los factores de potencia de los alimentadores preseleccionados, donde seleccionamos el día con la mayor demanda durante todo el año, es decir los alimentadores que no cumplen con el valor mínimo de la regulación con respecto al factor de potencia. Se deberá tomar los puntos en los que los alimentadores no cumplan con el valor requerido como en nuestro caso de estudio los que se presentan problemas en todos los alimentadores considerado que tienen un valor menor al de 0,96 durante el día.

## 26 Metodología para la aplicación de bancos de capacitores en alimentadores primarios de media tensión

Para desarrollar el estudio de la ubicación óptima de bancos de capacitores en los alimentadores primarios de la subestación la esperanza de Emelnorte, se tomará en cuenta un programa computacional que cuenta Emelnorte y nos brindará acceso al software CYME-Cymdist para realizar los análisis técnicos de una forma rápida y eficaz, ya que realizar este tipo de estudios de forma manual llevará mucho tiempo para este proceso.

El primer punto a llevar a cabo en el trabajo será basarse a las mediciones realizadas en la cabecera de los alimentadores primarios en tiempo real, siendo estas expresadas como demanda máxima, media y mínima para obtener el gráfico de las curvas de carga y proceder a la aplicación de bancos de capacitores en los alimentadores que presenten los problemas más severos, consistiendo básicamente en el proceso de calcular u obtener los requerimientos de los reactivos, ubicación y el tipo del banco de capacitores.

La base del estudio será centrada en la aplicación de banco de capacitores con los valores de factor de potencia expuestos en el estudio de “Revisión de las bandas de variación de voltajes en barras y factores de potencia en puntos de entrega del Sistema Nacional de Transmisión” elaborado por el CANACE en el año 2018.

## **26.1 Análisis de la demanda**

La obtención de información de demandas se realizó mediante el sistema de medición que están ubicados en las cabeceras de los alimentadores siendo estos valores registrados en una plantilla predeterminada, para conocer las mediciones de la demanda máxima, media y mínima.

### **26.1.1 Registro de mediciones**

Los datos de la demanda en las cabeceras de los alimentadores se deberán considerar como referencia un año completo, donde se encuentre datos con las mediciones especificadas por meses y el rango de tiempo establecidos para encontrar el punto máximo, medio y mínimo dentro del año en curso del estudio. Las mediciones son realizadas aguas abajo en el alimentador donde se concentra una mayor cantidad de demanda o cargas importantes.

Las mediciones están representadas en periodos de 5 minutos, en donde se encuentra la información detallada como kVA conectados (Capacidad instalada), los Voltajes, las Corrientes y la Potencia; de los transformadores de distribución que pertenecen al alimentador primarios se realizara una distribución de carga, para conocer la medida de la capacidad instalada.

Determinar los escenarios de la demanda máxima, media y mínima mediante la potencia reactiva de los meses del año de estudio, por lo tanto, se debe eliminar los días en los que el alimentador presente operación anormal como puede ser:

- Desconexión parcial o total de la carga
- Apertura del alimentador
- Transferencia de carga entre alimentadores
- Sobrecargas
- Cortocircuitos o descargas atmosféricas

Se debe constatar que el medidor no tenga lecturas erróneas, fuera de rango que hubiesen provocado un error en los transformadores de medición, cableado, configuración o daño interno, etc.

## 26.1.2 Curvas de carga

Las curvas están representadas en kW durante el día en el que fue encontrado los puntos críticos para realizar el trabajo teniendo en cuenta que se deberán evaluar las distintas demandas encontradas anteriormente. Las curvas de demanda cuentan con un registro de 24 horas

Al realizar las curvas deberá ser tomado en cuenta los siguientes criterios:

- Aplicar el criterio de selección de información utilizando el caso de determinación de escenarios con lo cual se procederá a la información de operatividad del alimentador.
- Utilizar la plantilla predeterminada que nos proporciona el sistema de medición para registrar los datos de los diferentes escenarios.

## 26.2 Objetivos y parámetros para aplicación de capacitores

A continuación, se hace referencia a los parámetros que se utilizara dentro de la metodología, para determinar la aplicación de bancos de capacitores en los alimentadores primarios de la subestación la esperanza con nivel de tensión de 13,8/7.96kV.

TABLA 6: Parámetros para la ubicación optima de condensadores

Parámetro	Valor
Capacidades estándar (kVAR) trifásica a nivel de tensión 13,8 kV	Los bancos más comunes instalados en poste tienen un valor de 300 a 900 kVAR en sistemas trifásicos de media tensión. (Eaton, 2020)
Porcentaje de caída de tensión	Las variaciones de voltaje admitidas con respecto al del voltaje nominal es de +/- 6%. (ARCERNNR, 2020)
Factor de Potencia	El valor mínimo en los puntos de entrega en el S.N.T. es de 0,96 inductivo.
Factor de potencia deseable en la cabecera del alimentador	El valor mínimo en la cabecera es de 0.96 inductivo.
Factor de potencia en el punto de instalación del banco	El valor máximo será de 0,99 inductivo.

## 26.3 Procedimiento para aplicar bancos de capacitores

Al finalizar el análisis de las demandas de los alimentadores, se procede a encontrar la potencia reactiva (máxima, media y mínima) del alimentador (kVAR) para continuar con el análisis, ubicación y selección del tipo de compensación de los bancos de capacitores. Por ende, se debe considerar unas los diferentes tipos de módulos que cuenta el software CYME-Cymdist para obtener los análisis e interpretar nuestros resultados.

## 26.3.1 Utilización del software CYME – Cymdist para la ubicación de capacitores

Para empezar a utilizar el módulo de ubicación de condensadores, se deberá proceder por 2 módulos diferentes como herramientas principales para realizar los diferentes análisis del sistema de energía los cuales se expondrán a continuación:

## 26.3.2 Módulo de Distribución de Carga

Esta función permite dar a conocer la demanda registrada en la cabecera de los alimentadores con la modelación en CYMDIST, teniendo en cuenta las variables obtenidas en el registro de mediciones de los medidores ION Schneider, como la demanda máxima media y mínima de acuerdo con los meses de estudio.

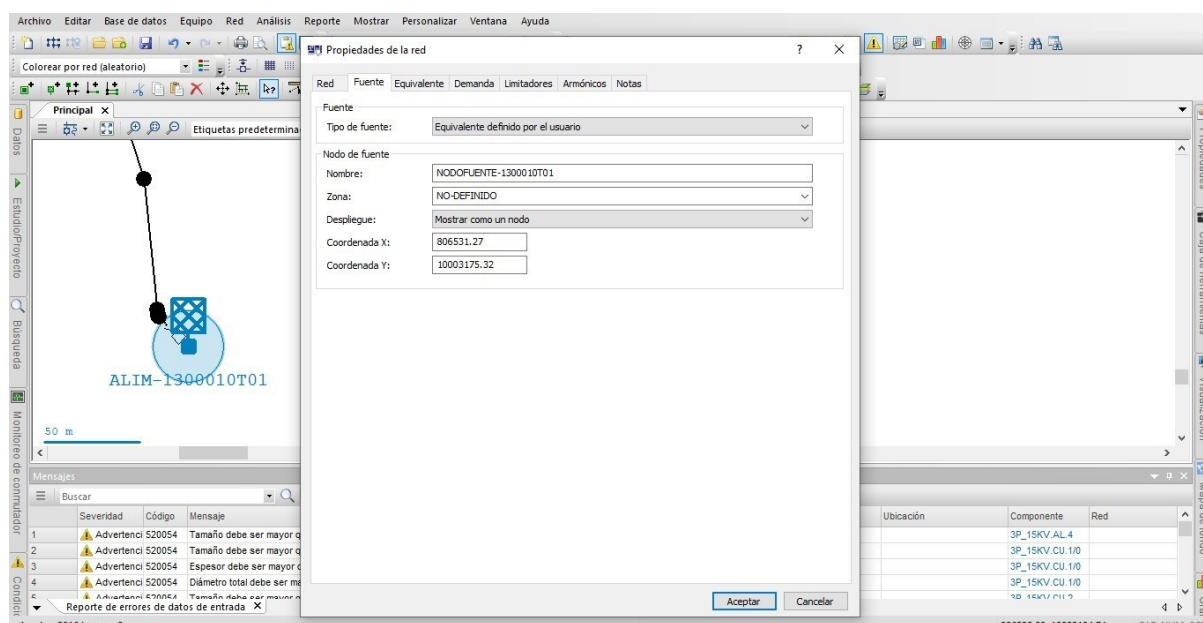


Fig. 18 Ventana de propiedades de la red

Fuente: Emelnorte

Para la distribución de carga en el alimentador se debe tomar en cuenta la demanda medida en la cabecera, con lo cual también se obtiene las diferentes variables para simular un sistema real con los valores reales por fase y la capacidad en valor de kWh en todo el alimentador.

- **Red:** Para seleccionar el o los alimentadores a trabajar se deberá conocer su código de identificación para seleccionar y empezar a trabajar.
- **Fuente:** En este apartado se seleccionará la opción que se muestra en la figura 18.
- **Equivalente:** Se deberá ingresar los datos registrados por el sistema de medición por fase en por unidad (p.u.), ya que no es un sistema balanceado.

- **Demanda:** al igual que en la sección anterior se deberá ingresar los datos manualmente que fueron encontrados en el sistema de medición desglosado por fases e introducido en el método AMP-FP.

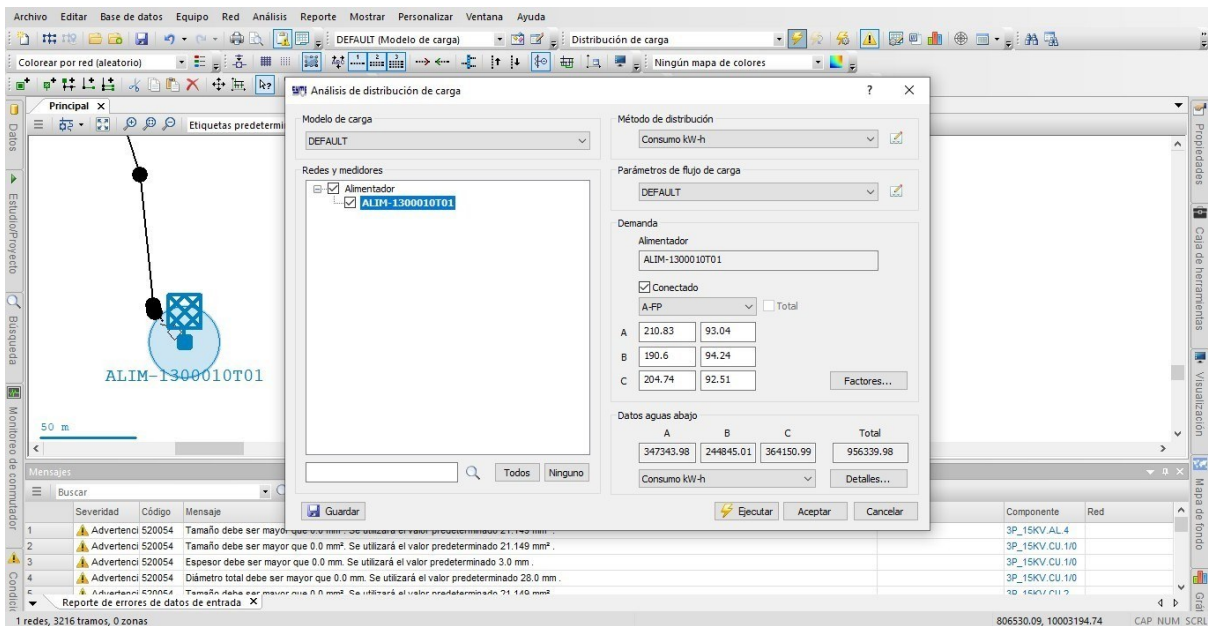


Fig. 19 Ventana Modulo Distribución de Carga

Fuente: Emelnorte

Cabe señalar que existen varios métodos de distribución de carga son: KVA conectados, consumo por transformador (kW-h), el consumo real (kVA o KW) y por el método REA (Rural Electrification Administrativos). El método más semejante para contar una operación real se basa en la distribución de carga en (kW-h), ya que se brinda la información de consumos de los clientes, teniendo en cuenta que las mediciones realizadas en los alimentadores son las corrientes, potencias, y factor de potencia proporcionados por el departamento de Planificación de Emelnorte.

### 26.3.3 Modulo Flujo de Carga

El flujo de potencia es uno de los procedimientos más utilizados en los sistemas de distribución, para la planificación, diseño y operación requiere varios cálculos para analizar en régimen permanente, en condiciones operativas como el aumento o disminución de equipos. Los estudios de flujo de potencia permiten conocer los Voltajes de barra en régimen permanente, pérdidas del sistema, caídas de voltaje.

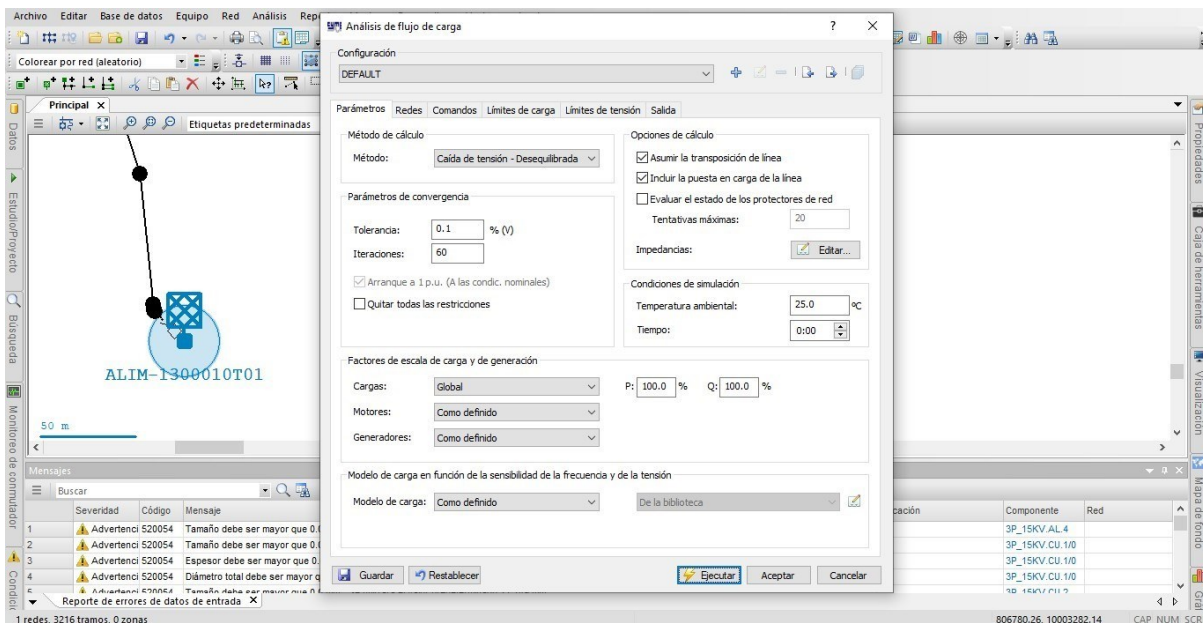


Fig. 20 Ventana Módulo Flujo de Carga

Fuente: Emelnorte

Cuenta con dos métodos de calculo que son:

- **Caída de tensión (voltaje) desequilibrada:** en redes de distribución con líneas radiales se requiere una técnica iterativa diseñada y optimizada específicamente para los sistemas radiales o mallados.
- **Caída de tensión (voltaje) equilibrada:** se realiza repartiendo carga en los tramos uniformemente ente las fases disponibles. No cuentan con un cambio de datos sobre la carga ingresados por el usuario en los cuadros de dialogo en las propiedades del tramo.

Cabe mencionar que el método empleado para el análisis es la caída de tensión desequilibrada.

### 2634 Modulo ubicación de condensadores

El análisis de ubicación de condensadores puede proporcionar los sitios donde conectar los capacitores en un alimentador seleccionando el fin de reducción de pérdidas en kW y mantener el factor de potencia deseado. El análisis permite encontrar la dimensión el valor número y el valor nominal asignados a los bancos de capacitores para conocer si se instalan o no los condensadores recomendados por el programa.

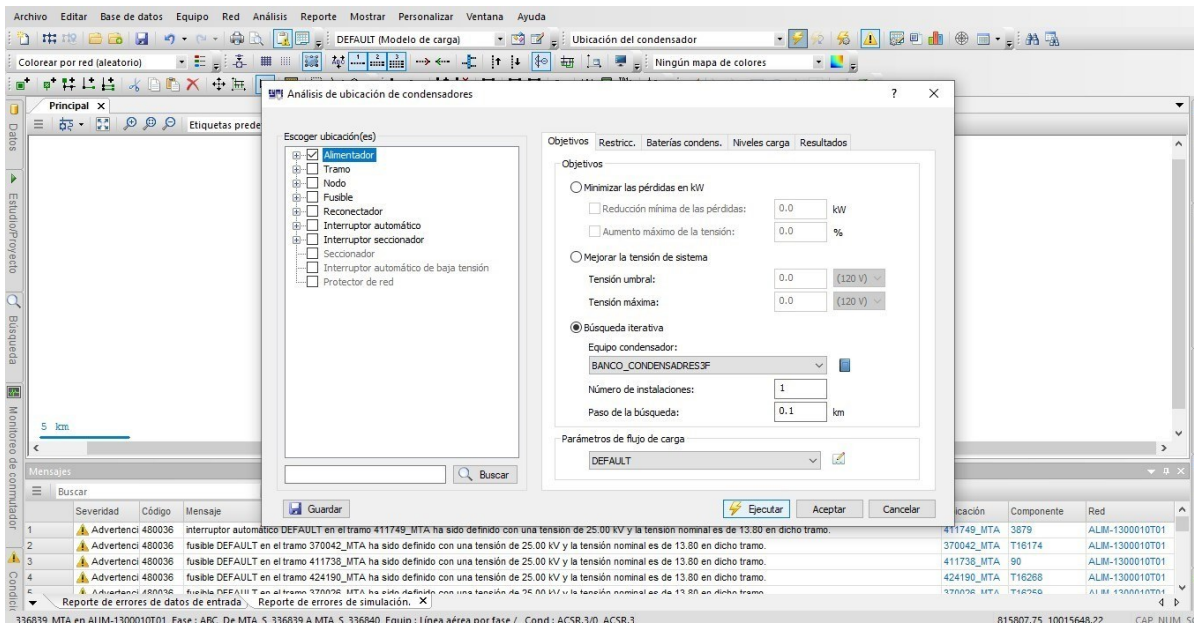


Fig. 21 Ventana Modulo Ubicación de Condensadores

Fuente: Emelnorte

Para comenzar a trabajar se requiere de una búsqueda iterativa, la cual brinda una lista de la ubicación de condensadores para aplicar otros beneficios con la instalación de estos dispositivos como son minimizar perdidas kW y mejorar la tensión del sistema. Donde tendremos que especificar:

- **Equipo condensador:** el condensador con los parámetros establecidos que pueda cumplir con el objetivo principal.
- **Número de instalaciones:** el número que de condensadores deseados para ser instalados en la red.
- **Paso de búsqueda:** define una distancia que examinara donde puede ser instalado el banco de capacitores, para este caso se debe tomar en cuenta el punto 0 para evaluar todos los tramos de la red.
- **Resultados búsqueda iterativa:** se presentan los resultados en una herramienta de visualización cuando la manipulación se haya terminado la ubicación de los condensadores.



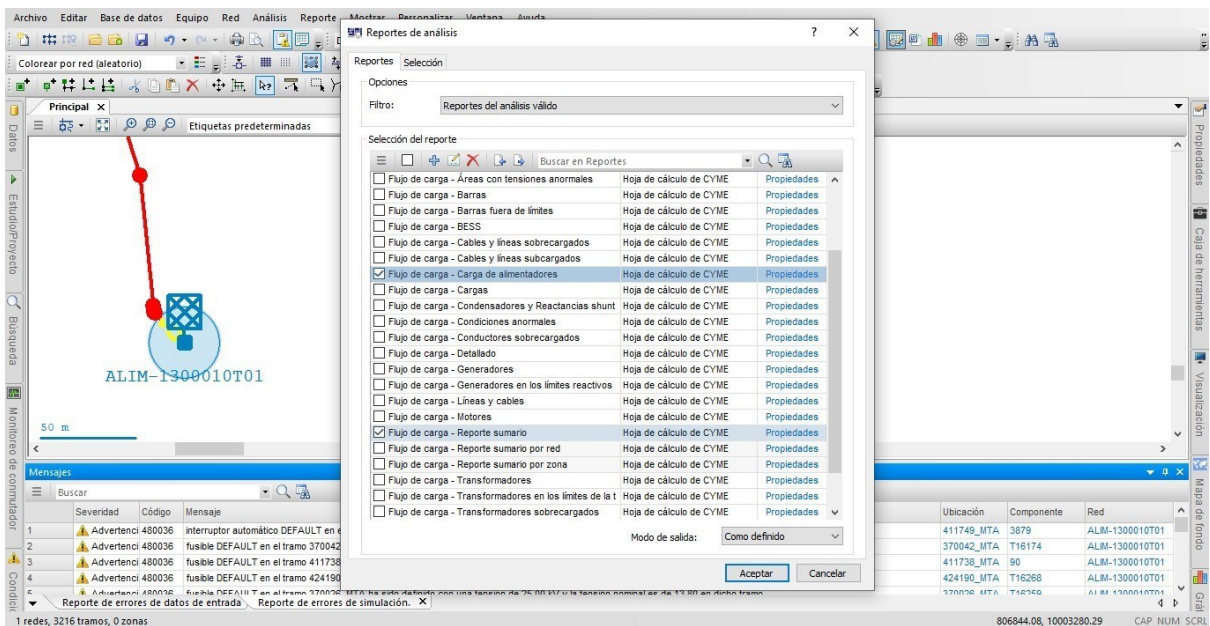


Fig. 22 Resultados Búsqueda Iterativa

Fuente: Emelnorte

## 27 Resumen general del capítulo

Al finalizar con la metodología se debe comparar los resultados encontrados tanto en el estado actual y el estado una vez realizado el estudio con la ubicación de los condensadores para encontrar y poder mostrar los distintos resultados en los cuales se verá reflejado el trabajo realizado. En nuestro caso se deberá comparar los reportes sumarios de los alimentadores para conocer los resultados obtenidos durante el análisis de estudio.



# CAPITULO 3

## 3 Resultados al implementar Banco de Capacitores

La simulación, se realizó con los datos obtenidos de acuerdo con el día que ocurrió los diferentes tipos de demandas, las cuales fueron expuestas en la Tabla 3.

Al realizar la simulación en todas las condiciones se determinaron los parámetros eléctricos en la cabecera de los alimentadores, las corrientes de fase obtenidas, así como los factores de potencia encontrados en el sistema de mediciones. En donde se procedió a realizar el trabajo y específicamente en este capítulo se mostrará los resultados dentro de cada alimentador.

### 3.1 Ubicación del banco de capacitores en el alimentador Z1

El software CYMDIST en el método de ubicación óptima de condensadores son flujos de carga iterativos, seleccionando así el lugar idóneo y la mejor ubicación para el banco de capacitores para cumplir con el objetivo propuesto.

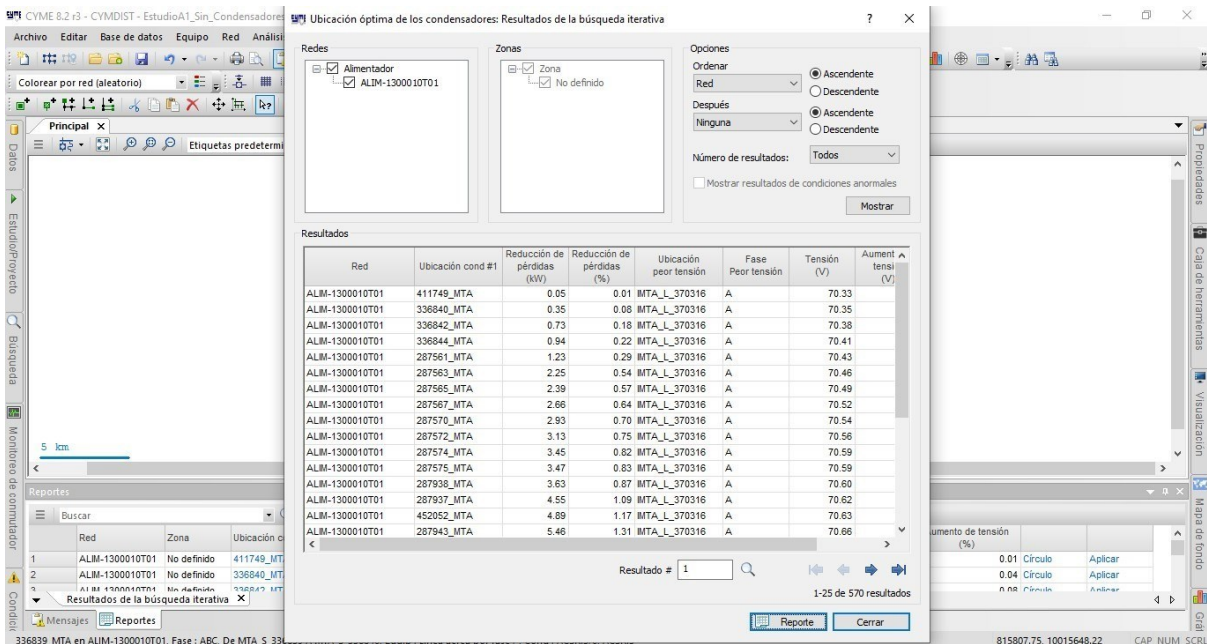


Fig. 23 Resultados Búsqueda Iterativa Alimentador Z1

Fuente: Autor

Para conocer el lugar donde va a ser instalado el banco de capacitores se empleó el método anteriormente señalado restringiendo tramos monofásicos, bifásicos y subterráneo. Donde se ejecutó el módulo en el cual nos mostró el lugar donde puede ser instalado teniendo en cuenta que la corriente no supere el 10% del valor nominal en donde

el punto donde se cumplen todos los parámetros establecidos es en los tramos para las distintas demandas.

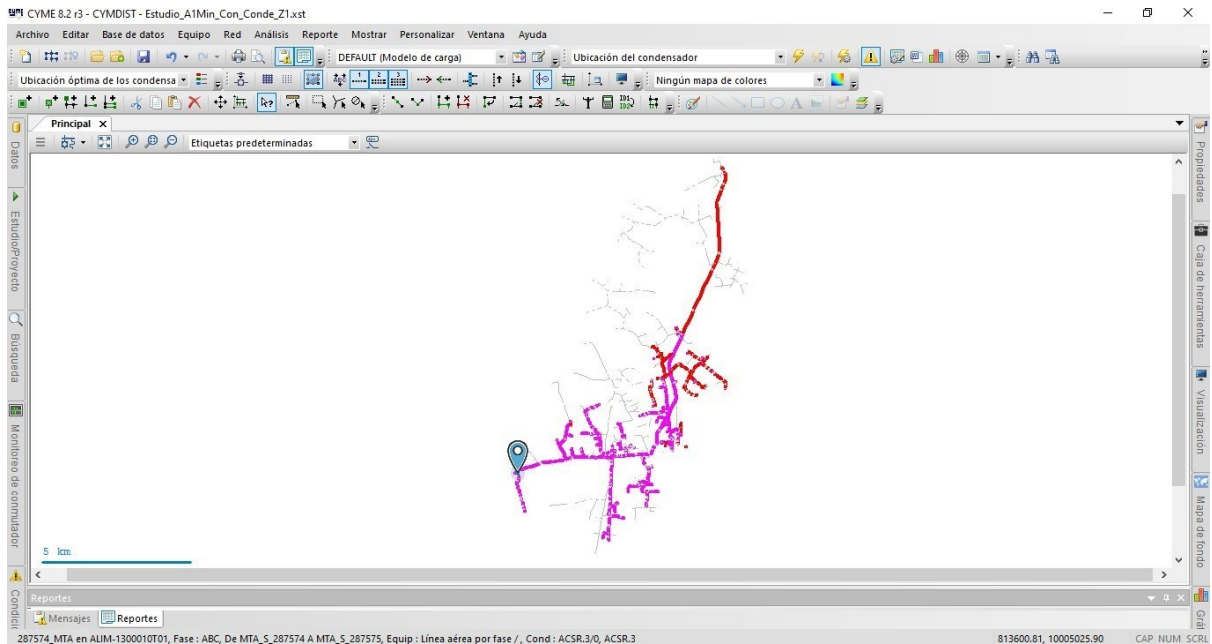


Fig. 24 Lugares donde puede instalar el banco de capacitores del alimentador Z1

Fuente: Autor

Al finalizar se procede buscar el tramo de media tensión en el sistema de información geográfica GIS, para encontrar el poste que se utilizara a partir de este estudio y cumplir con el objetivo planteado.

Poste		Poste	
CODIGOELEMENTO	27	CODIGOELEMENTO	143
Proyecto Const	MIGRADO	Proyecto Const	MIGRADO
F Construccion	12/31/2006 7:00 P. M.	F Construccion	11/30/1985 7:00 P. M.
FECHAENERGIZACION	12/31/2006 7:00 P. M.	FECHAENERGIZACION	11/30/1985 7:00 P. M.
Codigo Empresa	EMELNORTE	Codigo Empresa	EMELNORTE
Provincia	PICHINCHA	Provincia	PICHINCHA
Canton	PEDRO MONCAYO	Canton	PEDRO MONCAYO
Parroquia	LA ESPERANZA	Parroquia	TABACUNDO, CABECERA CANTONAL
Subtipo	Poste Hormigón	Subtipo	Poste Hormigón
Propiedad	EMELNORTE	Propiedad	EMELNORTE
Codigo Estructura	PHC11_350	Codigo Estructura	PHC11_500
COORD_X	806.279,28	COORD_X	807.938,93
COORD_Y	10.004.504,10	COORD_Y	10.004.937,92
ALIMENTADOR	ALIM-LA ESPERANZA 1	ALIMENTADOR	ALIM-LA ESPERANZA 1
Observaciones		Observaciones	
Comentarios	Z1P23	Comentarios	Z1P143

Fig. 25 Coordenadas postes seleccionados para instalar los bancos de capacitores Z1

Fuente:(SIG WEB, n.d.)

TABLA 7: Resultados Obtenidos en el Alimentador Z1

Alimentador	Demanda	Banco de Capacitores				Factor de Potencia			Código Poste		Coordenadas	
		Valor KVAR	Conexión	Tipo	Fases	Antes	Después	Punto de Instalación	Antiguo	Nuevo	X	Y
Z1	Máxima	800	Fijo	Trifásico	A - B - C	93.22	97.1	98.05	Z1P143	143	807938,93	10004937,92
	Media	300	Automático			93.02	97.09	97.23	Z1P23	27	806279,28	10004504,10
	Mínima	100				84.53	96.74	96.69				

Fuente: Autor

En la Tabla 7, se mostrará un resumen del lugar donde va a ser instalado el banco de capacitores, la capacidad del banco, los resultados del antes, después y en el punto de instalación del banco, tanto en las demandas mínimas medias y máximas. Así como también el poste donde va a ser instalado de acuerdo con las coordenadas y el punto del GPS de acuerdo con los códigos antiguos y nuevos.

### 32 Ubicación del banco de capacitores en el alimentador Z2

Para el alimentador “Z2” se utilizó la misma metodología por ende se obtuvo los siguientes resultados donde podemos encontrar en la figura 26 los tramos donde pueden ser instalados los bancos de capacitores eliminando tramos subterráneos, bifásicos y monofásicos.

Así mismo teniendo en cuenta un 10% de pérdidas % del valor nominal en donde el punto donde se cumplen todos los parámetros establecidos es en los tramos para las distintas demandas.

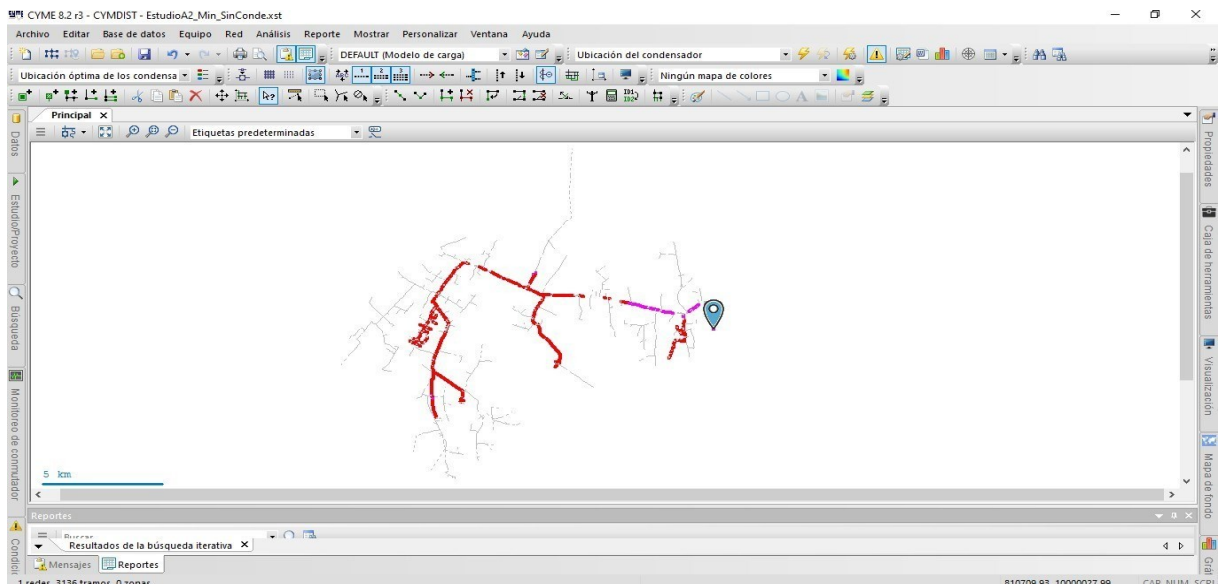


Fig. 26 Lugares donde puede instalar el banco de capacitores del alimentador Z2

Fuente: Autor

Una vez finalizado el estudio se traslada a encontrar las coordenadas del tramo de media tensión en el sistema de información geográfica GIS, para encontrar el poste que se utilizara a partir de este estudio y cumplir con el objetivo planteado.

Poste		Poste	
CODIGOELEMENTO	3941	CODIGOELEMENTO	3592
Proyecto Const	MIGRADO	Proyecto Const	MIGRADO
F Construccion	11/30/1985 7:00 P. M.	F Construccion	11/30/1985 7:00 P. M.
FECHAENERGIZACION	11/30/1985 7:00 P. M.	FECHAENERGIZACION	11/30/1985 7:00 P. M.
Codigo Empresa	EMELNORTE	Codigo Empresa	EMELNORTE
Provincia	PICHINCHA	Provincia	PICHINCHA
Canton	PEDRO MONCAYO	Canton	PEDRO MONCAYO
Parroquia	TOCACHI	Parroquia	LA ESPERANZA
Subtipo	Poste Hormigón	Subtipo	Poste Hormigón
Propiedad	EMELNORTE	Propiedad	EMELNORTE
Codigo Estructura	PHC11_350	Codigo Estructura	PHC11_500
COORD_X	804.218,20	COORD_X	805.609,16
COORD_Y	10.004.059,94	COORD_Y	10.004.098,61
ALIMENTADOR	ALIM-LA ESPERANZA 2	ALIMENTADOR	ALIM-LA ESPERANZA 2
Observaciones		Observaciones	
Comentarios	Z2P540	Comentarios	Z2P134

Fig. 27 Coordenadas postes seleccionados para instalar los bancos de capacitores Z2

Fuente: (SIG WEB, n.d.)

Para una mejor comprensión se muestra la Tabla 8, con un resumen de los resultados obtenidos en el alimentador como el punto de instalación, la capacidad, el tipo y los resultados del antes y después de la instalación del banco de capacitores además de las coordenadas del poste su codificación tanto en la anterior codificación como Z2P y la codificación del elemento.

TABLA 8: Resultados Obtenidos en el Alimentador Z2

Alimentador	Demanda	Banco de Capacitores				Factor de Potencia			Código Poste		Coordenadas	
		Valor KVAR	Conexión	Tipo	Fases	Antes	Después	Punto de Instalación	Antiguo	Nuevo	X	Y
Z2	Máxima	800	Fijo	Trifásico	A - B - C	91.65	97.68	98.4	Z2P134	3592	805609,16	10004098,61
	Media	300	Automático			91.14	97.24	98.68	Z2P540	3941	804218,20	10004059,94
	Mínima	50				94.48	99.18	99.44				

Fuente: Autor

### 3.3 Ubicación del banco de capacitores en el alimentador Z3

Al realizar los diferentes tipos de análisis en las diferentes demandas con la ubicación óptima de capacitores en el alimentador denominado Z3 en el software CYMDIST, se obtuvieron los reportes necesarios para instalar los bancos de capacitores como se muestra en la Figura 28.

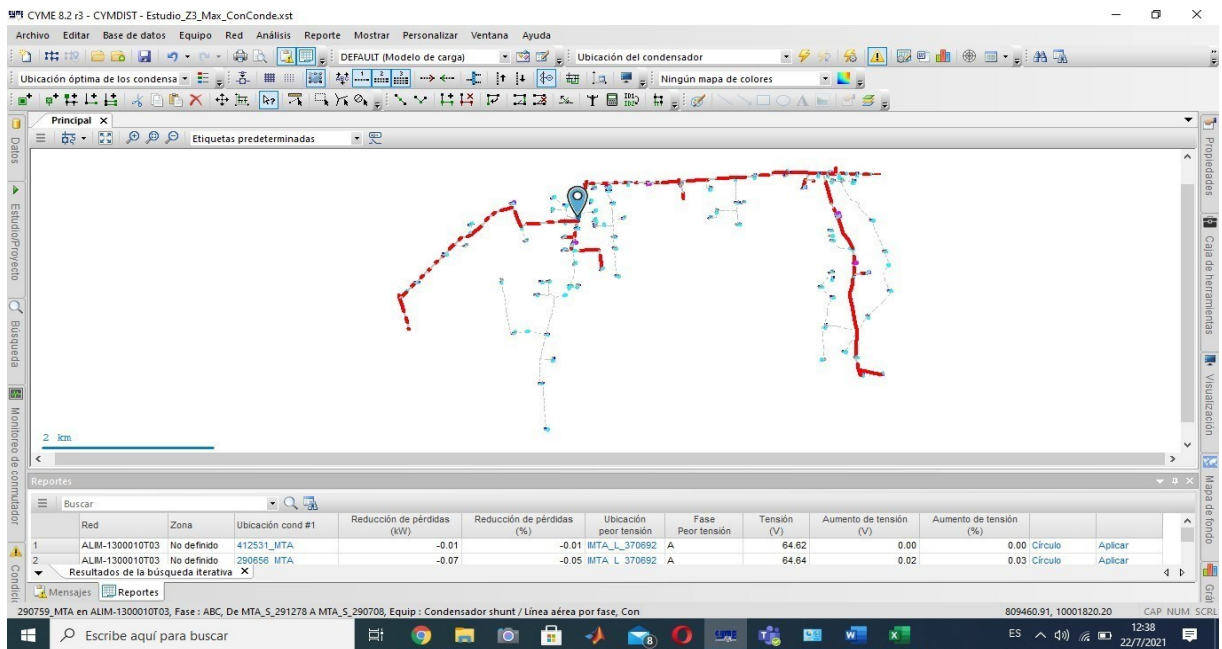


Fig. 28 Lugares donde puede instalar el banco de capacitores del alimentador Z3

Fuente: Autor

Una vez finalizado el estudio se traslada a encontrar las coordenadas del tramo de media tensión en el sistema de información geográfica GIS, para encontrar el poste que se utilizara a partir de este estudio y cumplir con el objetivo planteado.

Poste	
CODIGOELEMENTO	7050
Proyecto Const	MIGRADO
F Construcción	11/30/1985 7:00 P. M.
FECHAENERGIZACION	11/30/1985 7:00 P. M.
Código Empresa	EMELNORTE
Provincia	PICHINCHA
Canton	PEDRO MONCAYO
Parroquia	TABACUNDO, CABECERA CANTONAL
Subtipo	Poste Hormigón
Propiedad	EMELNORTE
Código Estructura	PHC11_500
COORD_X	808.510,75
COORD_Y	10.004.541,95
ALIMENTADOR	ALIM-LA ESPERANZA 3
Observaciones	
Comentarios	Z3P255

Fig. 29 Coordenadas postes seleccionados para instalar los bancos de capacitores Z3

Fuente: (SIG WEB, n.d.)



Para una mejor comprensión de los resultados se muestra la Tabla 9, del alimentador como el punto de instalación, la capacidad, el tipo y los resultados del antes y después de la instalación del banco de capacitores, además se muestra el código de postes con la nomenclatura anterior y el código elemento actual.

TABLA 9: Resultados Obtenidos en el alimentador Z3

Alimentador	Demanda	Banco de Capacitores			Fases	Factor de Potencia			Código Poste		Coordenadas	
		Valor KVAR	Conexión	Tipo		Antes	Después	Punto de Instalación	Antiguo	Nuevo	X	Y
Z3	Máxima	600	Automático	Trifásico	A - B - C	90.8	97.39	98.86	Z3P255	7050	808510,75	10004541,95
	Media	300				88.92	98.06	99.63				
	Mínima	30	Fijo	Monofásico		87.84	99.05	99.76				

Fuente: Autor

### 34 Ubicación del banco de capacitores en el alimentador Z4

La ubicación óptima de capacitores realizada en el alimentador Z4 mediante el software CYMDIST, donde se detectó que la instalación del banco de capacitores puede ser en los tramos trifásicos mostrados en la figura 30.

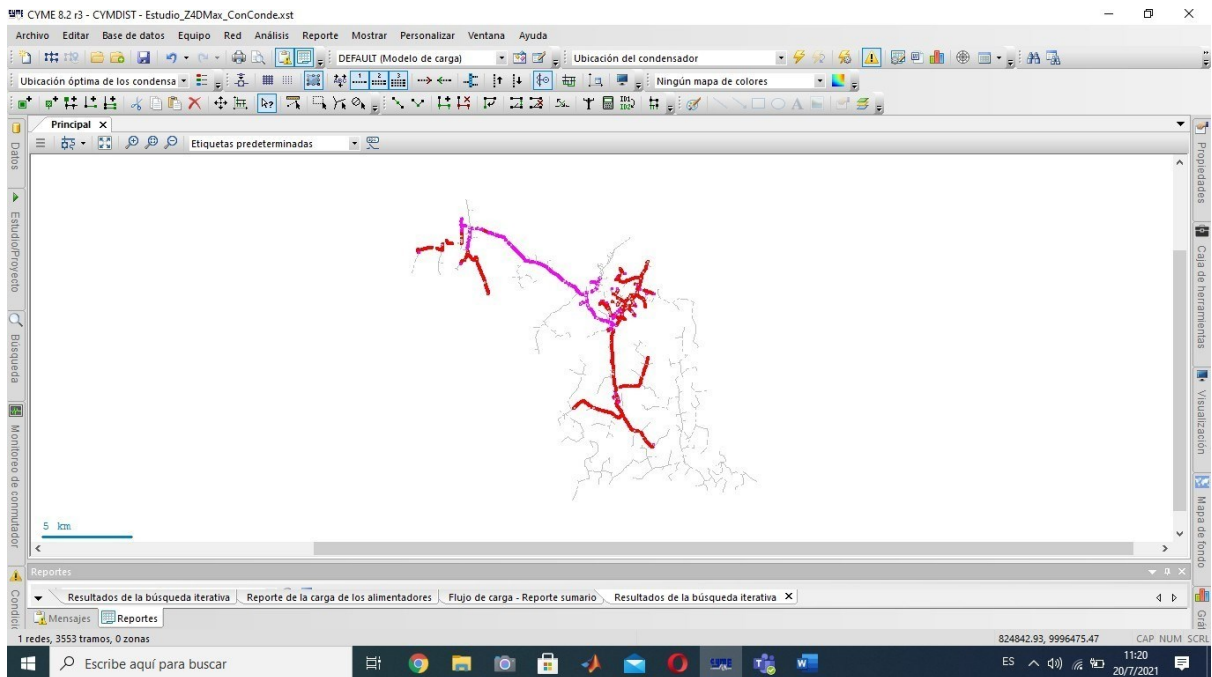


Fig. 30 Lugares donde puede instalar el banco de capacitores del alimentador Z4

Fuente: Autor

Una vez detectado el punto donde va a ser instalado el banco de capacitores nos trasladamos al sistema de información geográfica GIS para encontrar el punto y las coordenadas de los postes donde tendremos los mejores resultados para nuestro trabajo.

Poste		Poste		Poste	
CODIGOELEMENTO	7616	CODIGOELEMENTO	7625	CODIGOELEMENTO	7846
Proyecto Const	MIGRADO	Proyecto Const	MIGRADO	Proyecto Const	MIGRADO
F Construccion	5/31/2006 7:00 P. M.	F Construccion	5/31/2006 7:00 P. M.	F Construccion	5/31/2006 7:00 P. M.
FECHAENERGIZACION	5/31/2006 7:00 P. M.	FECHAENERGIZACION	5/31/2006 7:00 P. M.	FECHAENERGIZACION	5/31/2006 7:00 P. M.
Codigo Empresa	EMLNORTE	Codigo Empresa	EMLNORTE	Codigo Empresa	EMLNORTE
Provincia	PICHINCHA	Provincia	PICHINCHA	Provincia	PICHINCHA
Canton	PEDRO MONCAYO	Canton	PEDRO MONCAYO	Canton	CAYAMBE
Parroquia	LA ESPERANZA	Parroquia	LA ESPERANZA	Parroquia	CANGAHUA
Subtipo	Poste Hormigón	Subtipo	Poste Hormigón	Subtipo	Poste Hormigón
Propiedad	EMLNORTE	Propiedad	EMLNORTE	Propiedad	EMLNORTE
Codigo Estructura	PHC11_350	Codigo Estructura	PHC11_350	Codigo Estructura	PHC11_350
COORD_X	806.525,16	COORD_X	807.003,62	COORD_X	810.152,87
COORD_Y	10.002.757,89	COORD_Y	10.002.653,00	COORD_Y	10.000.804,74
ALIMENTADOR	ALIM-LA ESPERANZA 4	ALIMENTADOR	ALIM-LA ESPERANZA 4	ALIMENTADOR	ALIM-LA ESPERANZA 4
Observaciones		Observaciones		Observaciones	
Comentarios	Z4P7	Comentarios	Z4P16	Comentarios	Z4P259

Fig. 31 Coordenadas postes seleccionados para instalar los bancos de capacitores Z4

Fuente: (SIG WEB, n.d.)

Para una mejor comprensión de los resultados se muestra la Tabla 10, del alimentador como el punto de instalación, la capacidad, el tipo y los resultados del antes y después de la instalación del banco de capacitores, además se muestra el código elemento del poste y la nomenclatura anterior del poste.

TABLA 10: Resultados Obtenidos en el Alimentador Z4

Alimentador	Demanda	Banco de Capacitores			Fases	Factor de Potencia			Código Poste		Coordenadas	
		Valor KVAR	Conexión	Tipo		Antes	Después	Punto de Instalación	Antiguo	Nuevo	X	Y
Z4	Máxima	800	Automático	Trifásico	A - B - C	90.52	96.49	96.57	Z4P7	7616	806525,16	10002757,89
	Media	300	Fijo			92.47	98.38	98.5	Z4P16	7625	807003,62	10002653,00
	Mínima	50	Automático			84.95	98.4	98.4	Z4P7	7616	806525,16	10002757,89
		50	Fijo	Monofásico	A	84.95	98.4	93.64	Z4P259	7846	810152,87	10000804,74

Fuente: Autor

### 3.5 Resumen

En este capítulo se trata de observar el factor de potencia que presentaron antes y después de la instalación de los bancos de capacitores, los valores de los bancos de capacitores, su tipo de conexión, si pueden ser trifásicos o monofásicos y el poste con código antiguo y nuevo con la base del sistema informático georreferencial con el que cuenta Emelnorte, donde se encuentran actualizados los datos y donde se muestra también las coordenadas del poste donde pueden ser instalados dentro de los alimentadores primarios.

## 4 CONCLUSIONES

- La metodología expresada en el capítulo 2 por parte de EMELNORTE, para determinar la ubicación óptima de capacitores con el método de búsqueda iterativa en tramos trifásicos donde se determina los kVAR, la cantidad y la ubicación para mejorar el factor de potencia.
- Como se indica en la Tabla 5, las condiciones en las demandas máximas, medias y mínimas se cuenta con un valor inferior al 0,96 que establece el estudio del CENACE de Revisión de Bandas de voltaje en barras y factor de potencia-2018 en donde se realizó el análisis de compensación reactiva en la subestación.
- Los bancos de capacitores deberán tener una configuración en paralelo dentro de los alimentadores primarios siendo estos trifásicos en la mayoría de sus casos los cuales serán instalados en la Subestación La Esperanza.
- Si los bancos de capacitores no cumplen con los objetivos propuestos, en las diferentes demandas se deberá aumentar la capacidad del banco y conocer si se necesita una compensación reactiva en todas sus fases o contemplar la posibilidad de instalar un banco monofásico para cumplir los objetivos propuestos en una línea.
- En todos los alimentadores primarios se necesitará la operación de bancos de capacitores fijos de operación constante y otros que sean tipo desconectables por lo que en las diferentes demandas puede existir una sobre compensación.
- Otro de los objetivos del trabajo de grado es mejorar los límites de calidad y seguridad de servicio eléctrico, del sistema de distribución expuestos en sus literales tanto en las demandas máximas medias y mínimas al igual que el factor de potencia se encuentre por encima de los límites establecidos por el CENACE logrando un sistema de distribución seguro y confiable.
- Al analizar las demandas máximas, medias y mínimas de los alimentadores primarios en los sistemas de distribución se deberá constatar que el factor de potencia sea 0,96 o superior en la cabecera de cada uno de ellos y el punto donde fueron instalados los bancos de capacitores no debe existir sobrecompensación.



## 5 RECOMENDACIONES

- Al empezar a realizar los estudios de los alimentadores se deberá constatar que el sistema de medición no cuente con lecturas erróneas y que se encuentren completas las mediciones ya que puede existir un registro modificado donde no pueda mostrar todas las mediciones necesarias para nuestro estudio.
- Los bancos de capacitores en sistemas de distribución presentan mejores beneficios en los alimentadores primarios que los bancos de capacitores en la subestación.
- Una vez terminado el estudio se deberá constatar que los puntos geográficos estén actualizados ya que con la nueva codificación no existen varios puntos y esto puede ser relevante para el punto de instalación del banco de capacitores.
- Para la instalación de un banco de capacitores se deberá tomar en cuenta los valores que existen en el mercado ya que estos están establecidos y no tendrían un costo adicional por la construcción de un banco de capacitores con especificaciones especiales.
- Una de las recomendaciones más importantes sería cambiar el conductor de la troncal principal de los alimentadores primarios eliminando así los denominados cuellos de botella, siendo el conductor más recomendable ASCR 3/0 puesto que al realizar los distintos estudios dentro de los alimentadores se observó que existen tramos con conductor de 2/0 y 1/0 por lo que se presentan varios problemas como el calentamiento de conductores, los distintos tipos de pérdidas y por ende variaciones de factor de potencia.
- Un estudio complementario que se debe realizar será la ubicación de reguladores de voltaje en los alimentadores primarios para obtener mejores beneficios tanto eléctricos como económicos.

## REFERENCIAS

- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2016). Regulacion-No.-CONELEC-004-02.pdf.
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2018). Atlas Sector Eléctrico Ecuatoriano. 112. [https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/06/Atlas2018-V2-21-06-20181\\_compressed-comprimido\\_bien.pdf](https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/06/Atlas2018-V2-21-06-20181_compressed-comprimido_bien.pdf)
- Alberto, C., Granada, E., Alfonso, R., & Ríos, C. A. (2006). Ubicación y dimensionamiento óptimo de condensadores en sistemas eléctricos de distribución con polución armónica usando recocido simulado. *Revista de Ingeniería*, 0(24), 52–61. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i24.327>
- Amaya, C. (2003). CAPACITORES EN MEDIA TENSIÓN. APLICACIÓN EN LA SUBESTACIÓN LOJA. ESCUELA POLITECNICA NACIONAL.
- ARCERNNR. (2020, November 13). Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica. <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/Regulacion-002-20.pdf>
- ARCERNNR. (2021). Régimen de las transacciones comerciales en el sector eléctrico ecuatoriano. [https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/Regulacion-005\\_20-Transacciones-Comerciales.pdf](https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/Regulacion-005_20-Transacciones-Comerciales.pdf)
- ARCONEL. (2019). Estadísticas Anuales Y Multianual Del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2018. 2–29. <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/08/EstadísticaAnualMultianual2018.pdf>
- Arcos Esteban, & Chicaiza Diego. (2015). ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TABLERO DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA, EMPLEANDO UN MÓDULO DCRA. PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA. 9–11.
- CENACE. (2018). Revisión de las Bandas de Variación de Voltaje en Barras y Factores de Potencia en Puntos de Entrega del Sistema Nacional de Transmisión ( SNT ) -2018 Noviembre 2018 Gerencia Nacional de Planeamiento Operativo Contenido.
- CIRCUTOR S.A. (2016). Tecnología para la eficiencia energética. [http://circuitor.com/docs/MitjaTensio\\_SP\\_Cat.pdf](http://circuitor.com/docs/MitjaTensio_SP_Cat.pdf)

- Clavijo, F. (2015). Análisis de factibilidad para la compensación de reactivo en función del mínimo de pérdidas en redes de distribución. UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE QUITO.
- Eaton. (2020). Banco de capacitores montado en poste | bastidor de capacitores. <https://www.eaton.com/mx/es-mx/catalog/medium-voltage-power-distribution-control-systems/pole-mounted-capacitor-banks.html>
- Emelnorte S.A., D. E. (2019). DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN MAYO 2019 Contenido.
- Estrada Soria, G., Tovar Hernández, J. H., & Gutiérrez Alcaraz, G. (2005). Metodología para la localización optima de capacitores mediante sensibilidades lineales. In IEEE Latin America Transactions (Vol. 3, Issue 2). <https://doi.org/10.1109/TLA.2005.1642411>
- Farinango, A. B. (2019). PROCESOS ESTOCÁSTICOS PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL.
- Francisco Pérez. (2013). Sistemas de transmisión flexible en corriente alterna. Prisma Tecnológico, 4(1), 25–28.
- Gómez Morales, E. (2009). ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA UNIDAD PROFESIONAL ADOLFO LÓPEZ MATEOS DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA TESIS INGENIERO ELECTRICISTA PRESENTA INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL.
- GRAJALES OTALVARO, A. (2014). ALGORITMO BÚSQUEDA TABÚ APLICADO AL PROBLEMA DE LA PLANEACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE CONDENSADORES Y REGULADORES DE TENSIÓN.
- Grandy Gonzales, R. (2015, June 24). Ubicación óptima de bancos de condensadores en sistemas de distribución eléctrica. Ubicación Óptima de Bancos de Condensadores En Sistemas de Distribución Eléctrica, 10. <https://doi.org/20112601K>
- Hofmann, W., Schlabbach, J., & Just, W. (2012). Reactive Power Compensation: A Practical Guide. In Reactive Power Compensation: A Practical Guide. <https://doi.org/10.1002/9781119967286>
- Huacasi Joel & Choquecahuana Elvis. (2016). UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA: ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE

INGENIERÍA ELÉCTRICA “LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE BANCOS DE CAPACITORES DOLORESPATA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SENSIBILIDADES LINEALES.” 64–67.

IEEE. (2010). IEEE Guide for Application of Power Apparatus Bushings IEEE Power and Energy Society.

Itaz Alcuacer, F. J. (2019). Determinación De Ruta Óptima De Alimentadores Primarios Aéreos De Medio Voltaje Utilizando Algoritmos De Optimización. 69.

Mullo Tarco, K. M., & Herrera Moreno, K. W. (2018). UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS CARRERA INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA Autores: Tutor.  
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4013>

Mullo Tarco Katty Maribel, H. M. K. W. (2018). UBICACIÓN DE CAPACITORES PARA MEJORAR LOS PERFILES DE VOLTAJE EN EL ALIMENTADOR 10PJ13B1S2 PUJILÍ CENTRO- ALPAMALAG DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA COTOPAXI S.A. Universidad Técnica de Cotopaxi.  
<repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/319/1/T-UTC-0309.pdf>

Nolivos, E. (2015). CONTROL DEL PERFIL DE VOLTAJE A TRAVÉS DE LA DETERMINACIÓN ÓPTIMA DE TAPS APLICADA EN MATLAB.

Ordoñez, J., & Nieto, L. (2010). Mantenimiento De Sistemas Eléctricos De Distribución (tesis de pregrado). In Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. [www.servelec.com.mx](http://www.servelec.com.mx) – Asistencia, servicios y suministros eléctricos.

Pérez Ayala, B. A. (2018). “Análisis de la aplicación de capacitores a nivel de alimentadores primarios pertenecientes a CNEL EP Unidad de Negocio El Oro .”

Preciado Yépez, J. (2019). “Análisis de la regulación de tensión mediante banco de capacitores en serie, en alimentador de distribución de larga distancia de la subestación de 69 KV Fortín de la ciudad de Guayaquil.”

Ramírez Castaño, S. (2004). Redes de Distribución de Energía. In Redes de Distribución de Energía (TERCERA ED). <https://docplayer.es/5176314-Redes-de-distribucion-de-energia.html>

Rosero Valarezo, D. (2019). ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGA Y ESTUDIOS ELÉCTRICOS DE LOS ALIMENTADORES DE LA NUEVA SUBESTACIÓN EL ROSAL DE EMELNORTE S. A. Galabay, 1, 25–29.

- Ruggero Ríos Bruno. (2014). "Incidencias de Cargas No Lineales en Transformadores de Distribución. Revista Científica de La UCSA, 1(1), 33–51. <http://scielo.iics.una.py/pdf/ucsa/v1n1/v1n1a05.pdf>
- Sdde, E. N., S, R. V., & Nacional, U. (2015). INTERFACE INTERACTIVA EN LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE CONDENSADORES EN SDDE. February.
- Short, T. A. (2018). Electric Power Distribution Handbook. In L. Taylor & Francis Group (Ed.), Electric Power Distribution Handbook (second). <https://doi.org/10.1201/b16747>
- SIG WEB. (n.d.). Retrieved July 25, 2021, from <https://gis.emelnorte.com/geoportal/>
- Vásquez Granda, P. M. (2014). Parametrización, control, determinación y reducción de perdidas en sistemas de distribución. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/423/1/Tesis.pdf>
- Wolfgang Hofmann, Jürgen Schlabbach, W. J. (2012). Reactive Power Compensation Units. In Reactive Power Compensation: A Practical Guide (first, p. 124). Jhon Wiley & Sons Ltda.

## 6 ANEXOS

### 6.1 ANEXO 1: Especificaciones banco de capacitores según la norma IEEE

#### Std 18-2002

Voltios, rms (terminal a terminal)	kVAr	Número de fases	BIL KVA
216	5,7,1/2,13 1/3,20 y 25	1 y 3	30
240	2.5,5,7 ½, 10, 15, 20, 25 y 50	1 y 3	30
480,600	5,10,15,20,25,35,50,60,100	1 y 3	30
2400	50, 100, 150, 200, 300 y 400	1 y 3	75,95, 125, 150 y 200
2770	50, 100, 150, 200, 300, 400 y 500	1y 3	75,95, 125, 150 y 200
4160,4800	50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700 y 800	1 y 3	75,95, 125, 150 y 200
6640,7200,7620,7690,8320,9540,9960,11400, 12470,13280,13800,14400	50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700 y 800	1	95,125, 150 y 200
15125	50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700 y 800	1	125, 150 y 200
19920	100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700 y 800	1	125, 150 y 200
20800,21600,22800,23800,24940	100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700 y 800	1	150 y 200

## **6.2 Anexo 2: Manual Procedimientos Para la Ubicación optima de capacitores en los alimentadores de la Subestación La Esperanza de EMELNORTE**

### **6.2.1 Introducción**

Un manual de procedimientos para la ubicación optima de capacitores con el software Cymdist en los alimentadores primarios debe constar de manera clara y detallada los pasos a seguir para cumplir con el objetivo de mejorar el factor de potencia en la cabecera de los alimentadores primarios. En donde el software Cymdist cuenta con las herramientas necesarias para cumplir con el trabajo.

Los módulos que utilizaremos son los módulos de distribución de carga, ubicación de condensadores y el análisis de flujo de carga, en donde se mostrara los pasos correspondientes para el estudio.

El módulo de análisis de distribución de carga nos ayuda ac conocer la demanda registrada por parte de los medidores ION en los alimentadores.

El módulo de la ubicación de condensadores será el encargado de brindar la información de los tramos donde pueden ser instalados los bancos de capacitores de acuerdo con las restricciones necesarias que en nuestro caso será en la troncal principal.

El módulo de análisis de flujo de carga es el encargado de brindar la información para conocer si se cumple o no el objetivo planteado dentro del estudio.

### **6.2.2 Adquisición de información**

El sistema de medición de los medidores ION están valoradas dentro cada 5 minutos por cada mes, en donde nos permitirá encontrar las demandas máximas medias y mínimas de los alimentadores primarios.

Local Time	kVARh	kVARH	kWh d	kWh r	l avg	kVAR tot	kW tot	PF sig	Vin a	Vin b	Vin c	la	lb	lc	VII ab	VII bc	VII ca	VII av
2020-ene-13 21:30:00.000	78.94508	0	230.0392	0	122.1198	888.5148926	2664.26	94.86375	0.959871	0.966278	0.973397	147.9265	101.5241	116.9087	13210.3	13433.64	13366.43	13336
2020-ene-13 21:35:00.000	75.46083	0	221.8252	0	121.8654	908.1099243	2669.359	94.67156	0.965613	0.972633	0.978542	147.8333	100.0025	117.7605	13296.2	13514.49	13437.7	13416
2020-ene-13 21:40:00.000	76.14969	0	220.3185	0	121.7211	937.5935669	2658.705	94.30763	0.966824	0.973815	0.978818	146.9852	98.94168	119.2363	13317.29	13522.96	13445.09	13428
2020-ene-13 21:45:00.000	77.35317	0	219.1693	0	118.551	910.4598999	2600.406	94.38224	0.969872	0.977836	0.982079	145.6482	94.46461	116.5403	13364.22	13578.56	13485.22	134
2020-ene-13 21:50:00.000	77.35643	0	218.0435	0	118.8683	911.2825928	2621.565	94.45601	0.974725	0.982104	0.98604	142.3891	97.95983	116.2559	13433.65	13629.44	13545.63	13536
2020-ene-13 21:55:00.000	77.19064	0	215.3496	0	115.2336	903.3012085	2554.161	94.27779	0.982136	0.988943	0.99252	140.1195	94.73704	110.8442	13533.98	13720.41	13640.53	13631
2020-ene-13 22:00:00.000	73.83708	0	211.3921	0	113.3365	852.9106835	2495.978	94.62773	0.972206	0.978211	0.982804	140.7004	91.4161	107.8929	13390.83	13574.49	13510.56	13491
2020-ene-13 22:05:00.000	72.0953	0	210.459	0	113.3429	852.0562134	2498.229	94.64654	0.972017	0.980303	0.982633	136.3858	91.60059	112.0424	13407.28	13595.85	13496.84	13499
2020-ene-13 22:10:00.000	74.70908	0	209.4308	0	118.6958	932.5109253	2611.241	94.17605	0.973935	0.982471	0.986156	142.4129	95.46785	118.2066	13427.42	13639.68	13537.93	13535
2020-ene-13 22:15:00.000	77.80377	0	214.4194	0	114.026	896.5266113	2516.666	94.20123	0.977371	0.985981	0.988495	139.4743	90.60197	112.0017	13479.29	13680.09	13573.88	13577
2020-ene-13 22:20:00.000	77.4556	0	207.8461	0	112.7446	959.7441406	2479.158	93.26592	0.98435	0.990813	0.995499	137.5784	91.26733	109.3881	13565.49	13749.23	13680.3	13664
2020-ene-13 22:25:00.000	76.46797	0	206.1976	0	112.7982	914.5233154	2501.67	93.92103	0.985569	0.991925	0.996308	136.0186	90.84761	111.5283	13580.6	13764.41	13619.89	13678
2020-ene-13 22:30:00.000	77.42919	0	206.3912	0	110.3624	922.2731323	2442.585	93.6533	0.987352	0.99496	0.997941	136.8189	88.46726	105.7282	13614.82	13794.89	13715.89	13708
2020-ene-13 22:35:00.000	76.7402	0	200.6326	0	108.002	926.2866211	2378.788	93.18455	0.988572	0.994652	0.996443	130.9269	87.98387	105.0953	13610.36	13787.67	13619.91	13696
2020-ene-13 22:40:00.000	78.63625	0	202.436	0	107.949	914.2207031	2387.186	93.38895	0.988144	0.995289	0.999317	131.7821	88.32507	103.74	13621.38	13804.82	13733.99	13720
2020-ene-13 22:45:00.000	75.00674	0	195.6261	0	105.4624	886.2744141	2344.583	93.54005	0.991327	0.999819	1.002649	129.2761	83.95942	103.1518	13674.06	13867.7	13770.87	13770
2020-ene-13 22:50:00.000	71.26132	0	192.4218	0	101.7302	811.927002	2267.077	94.14447	0.987652	0.995913	0.998603	123.7912	84.39308	97.00638	13626.61	13807.9	13717.77	13717
2020-ene-13 22:55:00.000	69.43427	0	188.8772	0	101.8766	841.6743164	2269.967	93.76215	0.991219	0.998767	1.003679	125.2837	82.07045	98.27553	13658.73	13866.59	13785.56	13770
2020-ene-13 23:00:00.000	70.89281	0	188.2661	0	103.4874	878.5625	2299.905	93.4162	0.992682	0.99951	1.00355	124.8769	85.59354	99.99181	13684.5	13867.02	13788.12	13779
2020-ene-13 23:05:00.000	71.64172	0	187.5081	0	100.2104	839.4450073	2220.492	93.53896	0.988985	0.995716	0.998606	121.0403	80.46408	89.12663	13631.95	13906	13726.01	13721
2020-ene-13 23:10:00.000	70.13018	0	185.0417	0	97.32115	829.4882813	2161.292	93.36027	0.992799	0.999692	1.003836	119.3648	79.99623	92.60243	13586.83	13867.56	13793.43	13782
2020-ene-13 23:15:00.000	69.23677	0	184.0507	0	94.45823	844.4846314	2240.06	93.62941	0.980796	0.988360	1.004023	124.0790	82.46246	90.88383	13626.98	13844.46	13749.40	13764

Ilustración 1 Sistema de Mediciones Medidores ION

Se deberá encontrar las demandas y señalarlas ya que estos datos nos ayudaran en el módulo de distribución de carga considerándolos como puntos críticos además de esto un paso muy importante será transformar los valores de voltaje a por unidad por cada fase. Como esta expresado en la Ilustración 1 del anexo 6.2.

### 6.2.3 Ingreso de datos al software Cymdist

En la Ilustración 2, se muestra el listado de los alimentadores codificados por subestación en donde nosotros debemos conocer la codificación pertinente de la subestación con la cual vamos a trabajar.

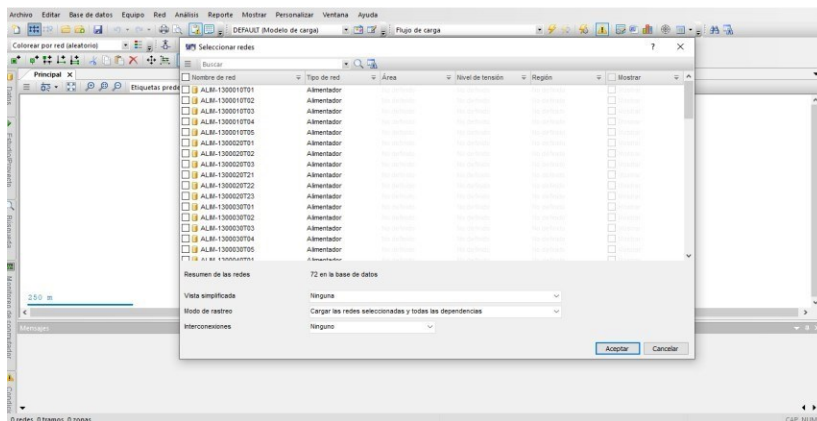


Ilustración 2 Selección Alimentadores

Luego de seleccionar el alimentador nos trasladamos a ingresar los datos reales que recabo el sistema de medición en la cabecera de los alimentadores seleccionados.



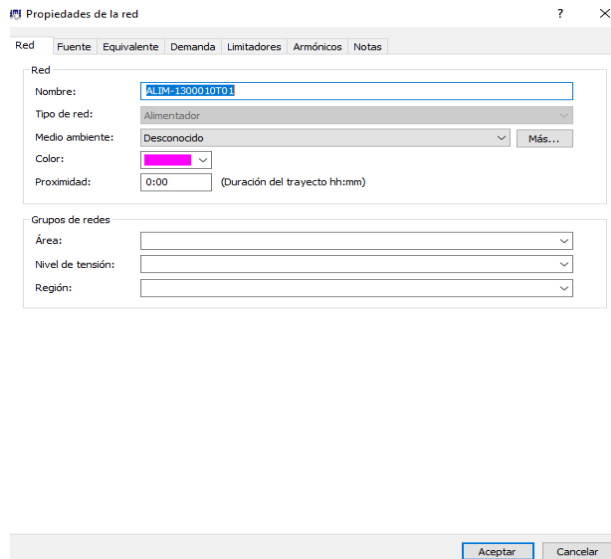


Ilustración 3 Propiedades de la Red

El siguiente paso es ingresar a la pestaña Fuente en donde seleccionaremos la opción ingresar datos por el usuario.

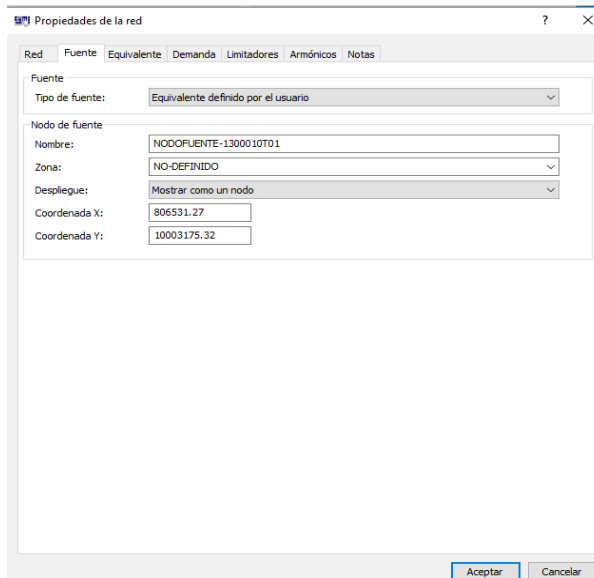


Ilustración 4 Pestaña Fuente selección equivalente del usuario

Al seleccionar el método equivalente definido por el usuario nos trasladamos a la pestaña equivalente donde ingresaremos el voltaje nominal y el valor de los voltajes en p.u. registrado en el sistema de medición.

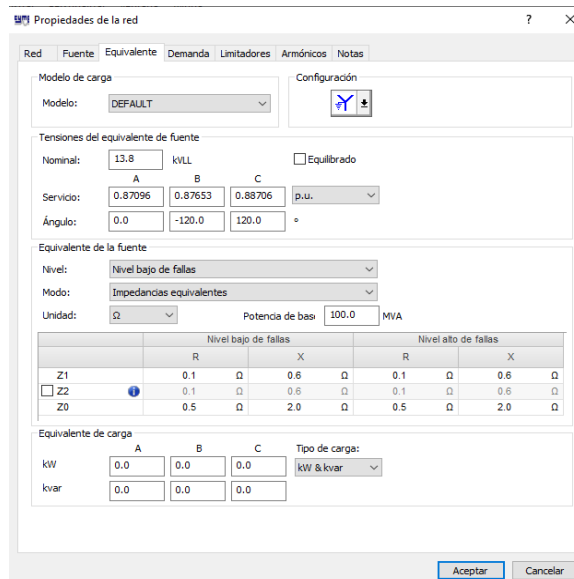


Ilustración 5 Ingreso de datos de voltaje

Una vez ingresado los datos en la pestaña equivalente nos trasladamos a la siguiente pestaña demanda para ingresar los datos de las corrientes y el factor de potencia por cada línea registrada en las mediciones.

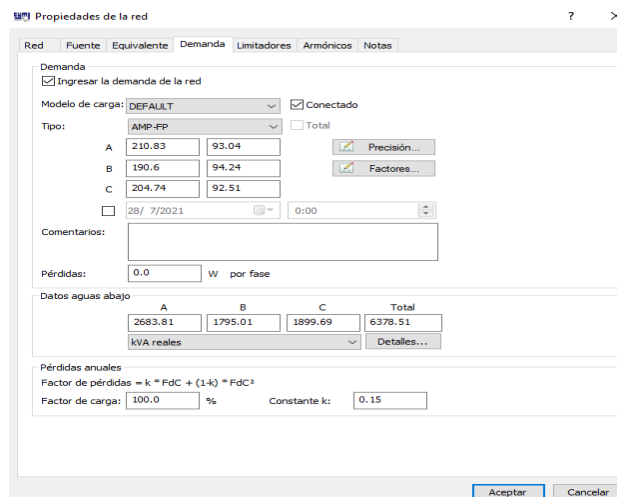


Ilustración 6 Ingreso de datos de corriente y factor de potencia

Para finalizar el ingreso de datos damos clic en el botón aceptar para finalizar.

## 6.2.4 Módulo análisis de distribución de carga

Para iniciar este análisis buscamos el módulo de distribución de carga en la barra de herramientas del software Cymdist.

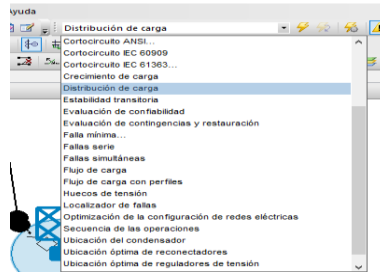


Ilustración 7 Selección modulo distribución de carga

Luego vamos a ejecutar este método en donde tenemos que verificar si el alimentador seleccionado es el correcto, en donde tenemos que seleccionar el método de distribución que en nuestro caso será el método consumo kW-h y en otros casos puede ser kVA reales.

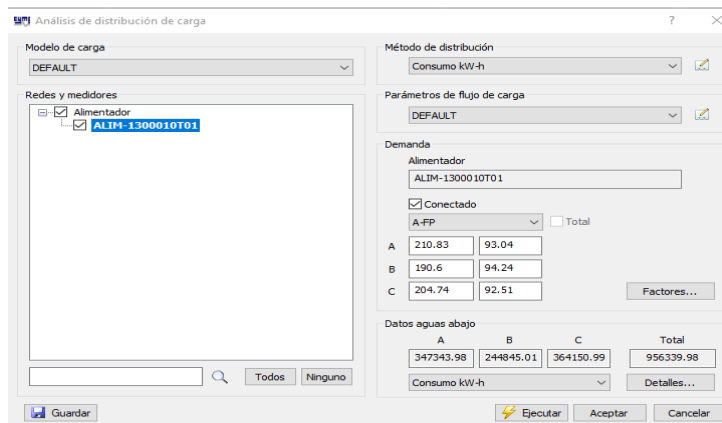


Ilustración 8 Selección método de distribución

Una vez finalizado con esto damos clic en el botón aceptar y procedemos a encontrar los reportes tanto sumario como el reporte del flujo de carga en alimentadores como lo muestra en la ilustración 9.

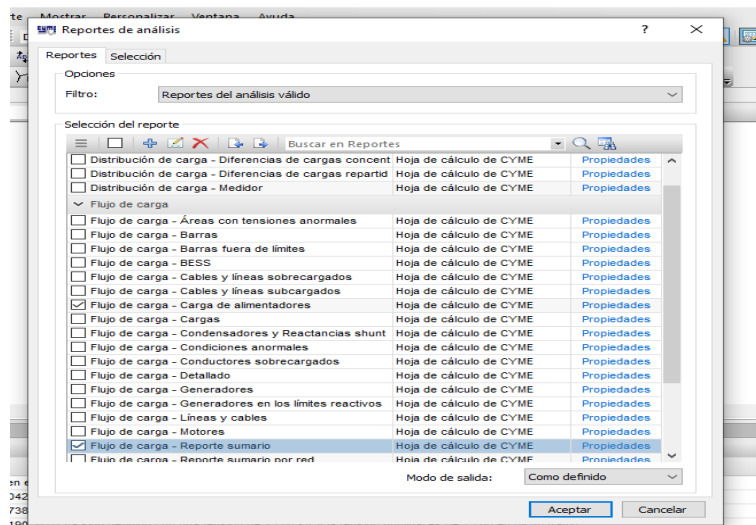


Ilustración 9 generar reportes necesarios

## 62.5 Ubicación óptima de capacitores

Se debe seleccionar el método de ubicación de condensadores para iniciar el análisis de este módulo.

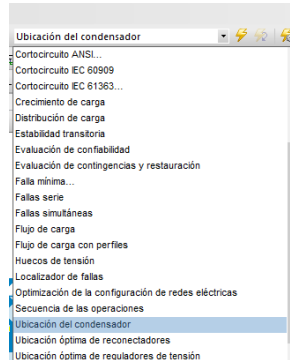


Ilustración 10 Selección modulo ubicación de condensadores

El siguiente paso es ejecutar este módulo para seleccionar el alimentador y el objetivo que vamos a utilizar que en nuestro caso el método de búsqueda iterativa detallando el banco de capacitores a instalar y los pasos de búsqueda para tener los resultados de todo el alimentador.

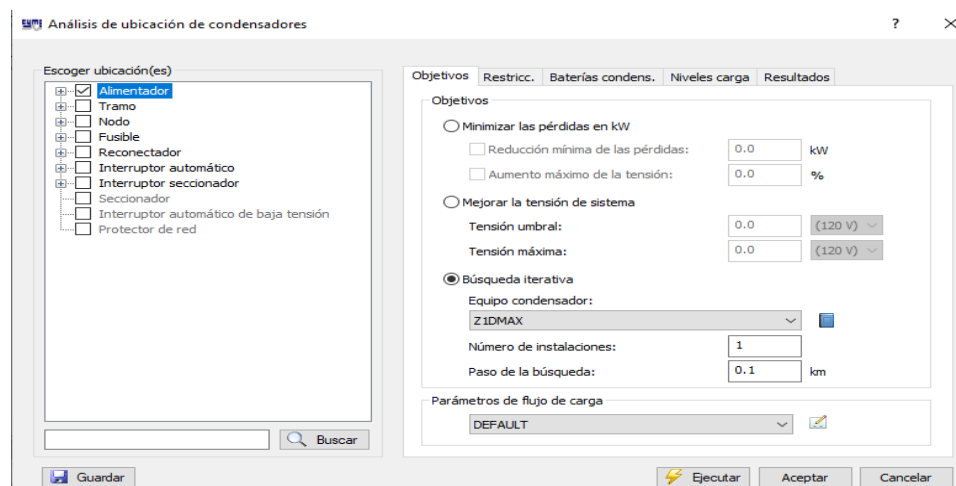


Ilustración 11 Selección método de búsqueda iterativa

En donde cabe señalar que se deberá crear el banco de capacitores con las características que existen en el mercado para no generar gastos innecesarios de construcción de características específicas.

En la pestaña restricciones se deberá especificar los valores como se muestra en la ilustración 12.

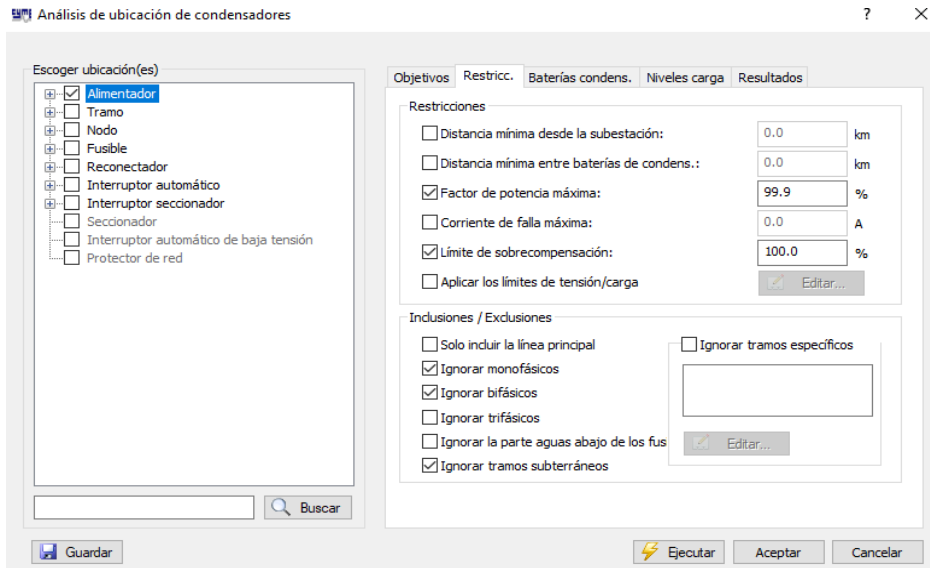


Ilustración 12 Restricciones para banco de capacitores

Luego se procede a ejecutar y esperar el resultado de la búsqueda de los tramos donde pueden ser instalados los bancos de capacitores.

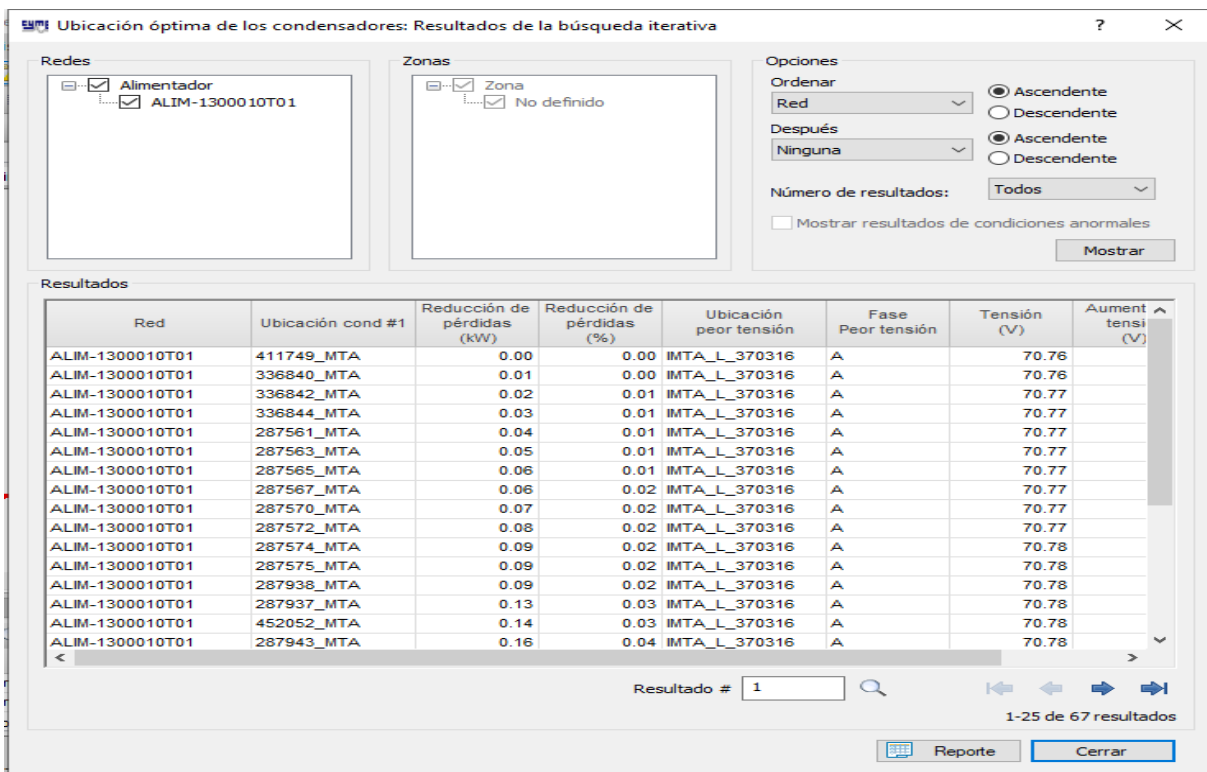


Ilustración 13 Reporte Tramos donde puede ser instalado el banco de capacitores

Para finalizar se obtiene el tramo donde puede ser instalado el banco de capacitores.

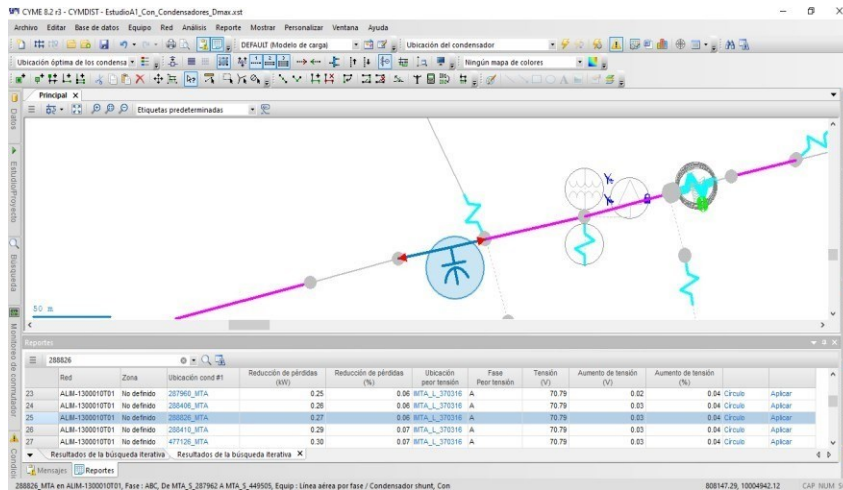


Ilustración 14 Tramo donde fue instalado el banco de capacitores

## 6.2.6 Módulo de Flujo de Carga

Para finalizar y conocer los distintos resultados tanto en la cabecera del alimentador como en el punto de instalación del banco de capacitores se deberá buscar el módulo del flujo de carga.

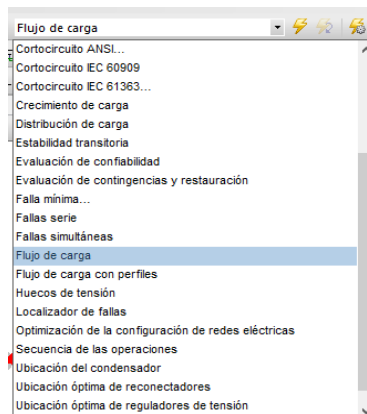


Ilustración 15 Selección módulo flujo de carga

Luego se procede a ingresar los valores del 6% que establece la regulación 002/20 los cuales pertenecen a los límites de voltaje.

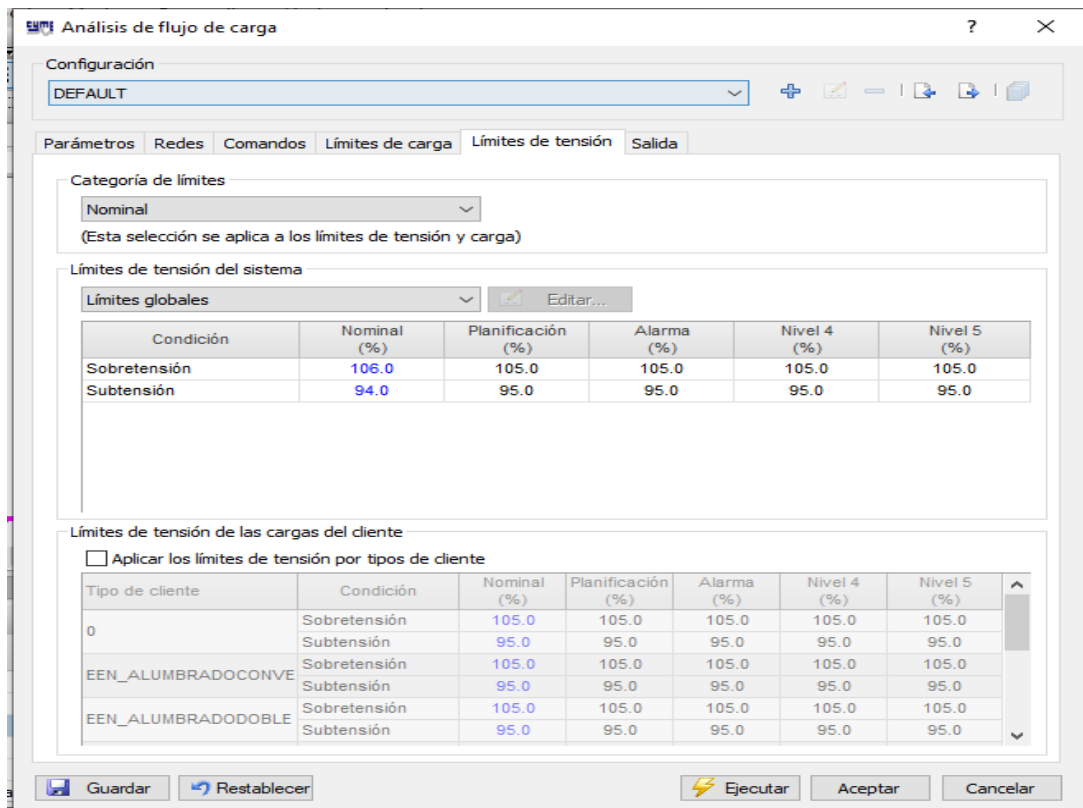


Ilustración 16 Ingreso valor de límites de voltaje

Para conocer si existen mejoras en el factor de potencia de los alimentadores se deberá seleccionar los reportes sumarios y de carga de alimentadores en la pestaña de salida.

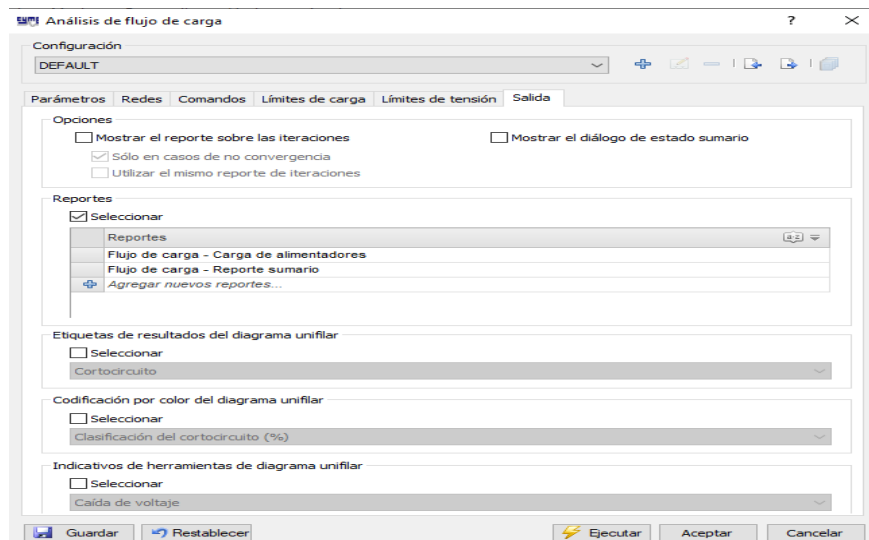


Ilustración 17 Reportes de salida

## 62.7 Resultados finales

Una vez generado los reportes sumarios se deberá constatar que el factor de potencia en la cabecera de los alimentadores debe cumplir con el objetivo que planteado que se deberá contar con un factor de potencia de 0,96 o superior y que no exista una sobrecompensación en el punto de instalación del banco de capacitores.

<b>Reporte de la carga de los alimentadores</b>								
<b>Subestación: NODOFUENTE-1300010T01 :</b>								
	Carga total		Carga total		Pérdidas totales		Pérdidas totales	
Nombre de la red	kVA	FP (%)	kW	FP (%)	kVA	FP (%)	kW	FP (%)
ALIM-1300010T01	4109.58	97.13	3991.78	97.13	757.16	55.36	419.18	55.36
<b>Total</b>	<b>4109.58</b>	<b>97.13</b>	<b>3991.78</b>	<b>97.13</b>	<b>757.16</b>	<b>55.36</b>	<b>419.18</b>	<b>55.36</b>

Ilustración 18 Factor de potencia cabecera del alimentador

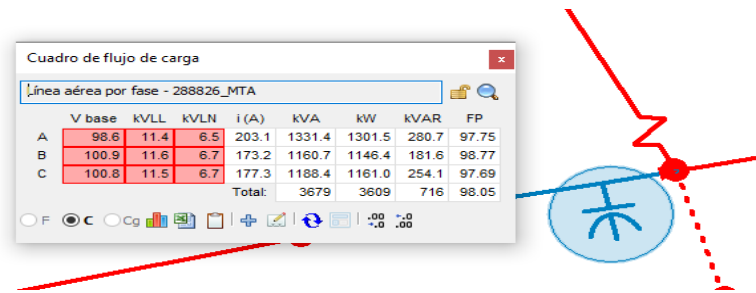


Ilustración 19 Factor de potencia en el punto de instalación banco de capacitores





## 6.4 Anexo 4: REPORTE SUMARIO Y ALIMENTADORES SIN BANCO DE CAPACITORES

<b>Flujo de carga - Reporte sumario</b>				
<b>Parámetros del estudio</b>				
Nombre del estudio	EstudioA1_Sin_Condensadores.xst			
Fecha	Wed Jul 28 2021			
Tiempo	12h22m59s			
Nombre del proyecto	Nuevo			
<b>Método de cálculo</b>	<b>Caída de tensión - Desequilibrada</b>			
Precisión	0.1 %			
Factores de carga	Global (P=100.00%, Q=100.00%)			
Factores de motor	Como definido			
Factores de generador	Como definido			
Condensadores shunt	On			
Modelo de carga de sensibilidad	De la biblioteca			
<b>Resumen total</b>	<b>kW</b>	<b>kvar</b>	<b>kVA</b>	<b>FP(%)</b>
Fuentes (Potencia de equilibrio)	3954.91	1533.70	4241.89	93.23
Generadores	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Producción total</b>	<b>3954.91</b>	<b>1533.70</b>	<b>4241.89</b>	<b>93.23</b>
Carga leída (no regulada)	6172.56	1582.55	6372.20	96.87
Carga utilizada (regulada)	3536.79	925.34	3655.83	96.74
Condensadores shunt (regulados)	0.00	0.00	0.00	0.00
Reactancias shunt(reguladas)	0.00	0.00	0.00	0.00
Motores	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Cargas totales</b>	<b>3536.79</b>	<b>925.34</b>	<b>3655.83</b>	<b>96.74</b>
Capacitancia del cable	0.00	-0.26	0.26	0.00
Capacitancia de la línea	0.00	-28.92	28.92	0.00
<b>Capacitancia shunt total</b>	<b>0.00</b>	<b>-29.18</b>	<b>29.18</b>	<b>0.00</b>
Pérdidas en las líneas	304.68	326.76	446.77	68.20
Pérdidas en los cables	0.00	0.00	0.00	-52.31
Pérdidas de carga del transformador	77.70	310.79	320.35	24.25
Pérdidas en vacío del transformador	35.75	0.00	35.75	100.00
<b>Pérdidas totales</b>	<b>418.13</b>	<b>637.55</b>	<b>762.43</b>	<b>54.84</b>

## 6.5 Anexo 5: REPORTE SUMARIO Y ALIMENTADORES CON BANCO DE CAPACITORES

<b>Flujo de carga - Reporte sumario</b>				
<b>Parámetros del estudio</b>				
Nombre del estudio	EstudioA1_Con_Condensadores_Dmax.xst			
Fecha	Wed Jul 28 2021			
Tiempo	11h50m50s			
Nombre del proyecto	Nuevo			
<b>Método de cálculo</b>	<b>Caída de tensión - Desequilibrada</b>			
Precisión	0.1 %			
Factores de carga	Global (P=100.00%, Q=100.00%)			
Factores de motor	Como definido			
Factores de generador	Como definido			
Condensadores shunt	On			
Modelo de carga de sensibilidad	De la biblioteca			
<b>Resumen total</b>	<b>kW</b>	<b>kvar</b>	<b>kVA</b>	<b>FP(%)</b>
Fuentes (Potencia de equilibrio)	3991.78	976.90	4109.58	97.13
Generadores	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Producción total</b>	<b>3991.78</b>	<b>976.90</b>	<b>4109.58</b>	<b>97.13</b>
Carga leída (no regulada)	6172.56	1582.55	6372.20	96.87
Carga utilizada (regulada)	3572.60	934.96	3692.92	96.74
Condensadores shunt (regulados)	0.00	-556.54	556.54	0.00
Reactancias shunt(reguladas)	0.00	0.00	0.00	0.00
Motores	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Cargas totales</b>	<b>3572.60</b>	<b>378.42</b>	<b>3592.59</b>	<b>99.44</b>
Capacitancia del cable	0.00	-2.20	2.20	0.00
Capacitancia de la línea	0.00	-29.86	29.86	0.00
<b>Capacitancia shunt total</b>	<b>0.00</b>	<b>-32.06</b>	<b>32.06</b>	<b>0.00</b>
Pérdidas en las líneas	295.27	316.43	432.80	68.22
Pérdidas en los cables	0.00	0.00	0.00	-19.62
Pérdidas de carga del transformador	78.53	314.11	323.78	24.25
Pérdidas en vacío del transformador	38.42	0.00	38.42	100.00
Pérdidas en el condensador shunt	6.96	0.00	6.96	100.00
<b>Pérdidas totales</b>	<b>419.18</b>	<b>630.54</b>	<b>757.16</b>	<b>55.36</b>