



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

### **TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

#### **TEMA:**

**“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA EL DISEÑO DE LA  
SUBESTACIÓN QUERO 69-13,8 KV, TUNGURAHUA, 2009.”**

#### **POSTULANTES:**

**BARRIGA GUISHA JORGE BLADIMIR  
MOLINA CAICEDO CARLOS HUGO**

#### **DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. KLEVER MAYORGA**

**2010**

## **AUTORÍA**

Nosotros, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal; y que se ha consultado en dichas bibliografías que se incluye en este documento.

A través de la presente declaración concedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Técnica de Cotopaxi, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.

-----

Jorge Bladimir Barriga Guisha

-----

Carlos Hugo Molina Caicedo

## **CERTIFICADO**

En cumplimiento a lo estipulado en el art.9 literal f) del reglamento del curso profesional de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de director de tesis del tema “ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA EL DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN QUERO 69-13,8 KV, TUNGURAHUA, 2009.” Propuesto por los Egdos. Jorge Bladimir Barriga Guisha y Carlos Hugo Molina Caicedo, debo confirmar que el presente trabajo de investigación fue desarrollado de acuerdo a los planteamientos formulados por la denuncia y construcción teórica del objeto de estudio.

La claridad y veracidad de su contenido a mas del desempeño y dedicación puesto por sus autores en cada etapa de su realización, merece especial atención y su consideración como trabajo de calidad.

En virtud de lo antes expuesto considero que los autores de la presente tesis se encuentran habilitados para presentarse al acto de defensa de tesis.

-----

Ing.Eléc. Klever Mayorga

**DIRECTOR DE TESIS**  
C.I. 180198718-9

## **CERTIFICADO**

Yo, Ing. Eléc. Luis Marcial en calidad de Director Encargado del Departamento de Planificación de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. a petición verbal del interesado:

Certifico que los señores Jorge Bladimir Barriga Guisha portador de la cédula de identidad N° 050293079-5 y Carlos Hugo Molina Caicedo portador de la cédula de identidad N° 050295152-8, realizaron la tesis de grado con el tema "ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA EL DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN QUERO 69-13,8 KV, TUNGURAHUA, 2009." Bajo la supervisión de la Dirección de Planificación.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a los interesados hacer uso del presente documento en la forma que estimen conveniente.

Ing. Eléc. Luis Marcial  
Director (E) de Planificación EEASA.

## **AGRADECIMIENTO**

De manera muy especial nuestro eterno agradecimiento, para todas aquellas personas e instituciones que de una u otra manera hicieron posible culminar con éxito nuestra carrera profesional.

A nuestros compañeros y docentes, de quienes llevaremos siempre los mejores recuerdos y experiencias.

Al personal técnico y administrativo de la Empresa Eléctrica Ambato, nuestro reconocimiento por la labor que realizan y además por transmitirnos sus conocimientos, instrumentos muy valiosos en el desarrollo de este trabajo

Queremos dejar constancia de nuestra profunda gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi, quien nos abrió las puertas para llenarnos de conocimientos, cumplir nuestras metas e ideales y ser unos profesionales útiles en la sociedad.

**Bladimir Barriga, Carlos Molina**

## **DEDICATORIA**

Mi tesis la dedico con todo mi cariño y amor a Dios, que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa.

Con mucho amor a mi madre Sra. María E. Guisha, mi hermana Verónica y mi hermano Gojan, por darme la estabilidad emocional ,económica, sentimental; para poder llegar hasta este logro, que definitivamente no hubiese podido ser realidad sin ustedes, GRACIAS...FAMILIA. Gracias por todo Madre por darme una carrera para mi futuro y por creer en mi, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre has estado apoyándome y brindándome todo tu amor, por todo esto te agradezco de corazón el que estés conmigo a mi lado, por enseñarme que todo se aprende y que todo esfuerzo al final da recompensa.

A una persona especial como es Carmen por darme su amor, apoyo y consejos para la elaboración de mi tesis.

A toda mi familia y amigos por ayudarme a crecer y madurar como una persona y por estar siempre conmigo apoyándome en todas las circunstancias posibles, en especial a mi tío Rojelio Yánez, una persona que fue mi apoyo durante este agradable y difícil periodo académico.

Bladimir

## **DEDICATORIA**

Después de varios años de esfuerzo y dedicación he logrado culminar una etapa muy importante dentro de mis aspiraciones, por esta razón quiero dedicar el presente trabajo a todas las personas que han permanecido a mi lado durante este largo camino apoyándome incondicionalmente.

A mis padres Alfredo Molina y Celia Caicedo, quienes forjaron en mi valores como la perseverancia, honestidad, respeto y responsabilidad, permitiéndome así desarrollarme dentro de la sociedad como un hombre de bien.

A mis hermanos Julio y Jaime Molina, por mostrarme que todos los problemas tienen solución si se los resuelve con unión y paciencia.

A mi esposa Gabriela, por brindarme esa palabra de aliento que me impulsó a no renunciar a mis sueños y además por luchar junto a mí en busca de un futuro mejor.

A mi hija Doménica Molina, porque una sonrisa suya iluminó mi vida y con ello me demostró lo bueno y generoso que es Dios con las personas.

**Carlos Molina C.**

# INDICE GENERAL

<b>CONTENIDOS</b>	<b>PÁG.</b>
PORTADA	I
AUTORÍA	II
INFORME FINAL DEL DIRECTOR DE TESIS	III
CERTIFICACIÓN DE LA EMPRESA ELECTRICA AMBATO	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VI
ÍNDICE GENERAL	VIII
RESUMEN	XVII
SUMMARY	XVIII
CERTIFICACIÓN DEL SUMMARY	XIX
INTRODUCCIÓN	XX
<b>CAPITULO I</b>	
<b>CONCEPTOS GENERALES Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA EN MEDIO VOLTAJE</b>	
1.1. CARGA DE UN SISTEMA ELÉCTRICO.	
1.1.1. Conceptos Generales.....	3
1.1.1.1. Carga.....	3
1.1.1.2. Carga o Capacidad Instalada.....	3
1.1.1.3. Demanda.....	3
1.1.1.4. Demanda Máxima.....	3
1.1.1.5. Demanda Promedio.....	3
1.1.1.6. Demanda Coincidente (Diversificada).....	4
1.1.1.7. Factor de Demanda.....	4
1.1.1.8. Densidad de Carga.....	4
1.1.1.9. Factor de Carga.....	5
1.1.1.10. Factor de Perdidas.....	5
1.1.1.11. Factor de Diversidad.....	5
1.1.1.12. Curva de Carga.....	5
1.1.1.13. Centro de Gravedad de Carga.....	5
1.2. PROYECCION DE LA DEMANDA.....	6



1.2.1. Métodos Perspectivos.....	8
1.2.1.1. Métodos Estadísticos.....	8
1.2.1.2. Métodos Econométricos.....	9
1.2.2. Métodos Normativos.....	9
1.2.3. Métodos de Confrontación Oferta-Demanda.....	10
1.2.4. Proyección Global.....	10
1.2.5. Factores que Afectan la Demanda Eléctrica.....	11
1.2.5.1. Factores Comunes.....	11
1.2.5.2. Factores Ocasionales.....	12
1.2.5.3. Factores Estacionales.....	12
1.3. CONTINUIDAD Y CALIDAD DE SERVICIO ELÉCTRICO.....	13
1.3.1. Confiabilidad.....	14
1.3.2. Disponibilidad e Indisponibilidad.....	14
1.3.3. Aspectos de Calidad.....	14
1.3.4. Calidad del producto.....	16
1.3.5. Calidad de Servicio Técnico.....	17
1.4. SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.....	18
1.4.1. Sistema de Distribución.....	19
1.4.2. Alimentadores.....	20
1.4.3. Ubicación de nuevas subestaciones.....	20
1.5. DIMENSIONAMIENTO DE UNA SUBESTACIÓN.....	22
1.5.1. Tamaño.....	23
1.5.2. Capacidad Operativa del Transformador en Condiciones Normales.....	23
1.5.3. Capacidad de sobrecarga del transformador ante contingencias.....	23
1.5.4. Expandibilidad.....	24
1.5.5. Limitaciones de los Equipos.....	24
1.5.6. Desarrollo Geográfico de la Zona y Restricciones Eléctricas.....	24
1.6. CLASIFICACIÓN DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.....	24
1.7. TIPOS DE ESQUEMAS DE BARRA.....	28
1.7.1. Barra Simple, Interruptor Simple.....	29
1.7.2. Barra Seccionada.....	30
1.7.3. Doble Barra, Doble Disyuntor.....	31

1.7.4. Doble Barra Principal, Interruptor Simple.....	32
1.7.5. Barra Principal y Barra de Transferencia.....	33
1.7.6. Doble Barra Principal, Interruptor y Medio.....	34
1.7.7. Barra Tipo Anillo.....	36
1.8. ELEMENTOS DE UNA SUBESTACIÓN.....	40
1.8.1. Barra.....	41
1.8.2. Transformador.....	41
1.8.3. Transformador de Corriente.....	41
1.8.4. Transformador de Potencial.....	42
1.8.5. Pararrayos.....	42
1.8.6. Relés de Protección.....	42
1.8.7. Equipos de Medición.....	43
1.8.8. Seccionador.....	43
1.8.9. Disyuntor Automático.....	44
1.8.10. Estructuras de Apoyo.....	44
1.9. PUESTA A TIERRA EN SUBESTACIONES.....	45
1.9.1. Requisitos de una Malla a Tierra.....	46
1.9.2. Tensiones de Paso y de Contacto Permisibles.....	47
1.9.2.1. Tensión de Paso.....	47
1.9.2.2. Tensión de Contacto.....	47
1.9.3. Diseño de una Malla a Tierra.....	48
1.9.3.1. Selección del Conductor de la Malla.....	49
1.9.3.2. Tensiones Reales de Paso y Contacto.....	49
1.9.3.3. Determinación de los coeficientes $k_m$ , $k_i$ , $k_s$ .....	50
1.9.4. Valor de la Resistencia de Puestas a Tierra.....	51
1.9.4.1. Condiciones para Disponer de una Malla Segura.....	51
1.10. DESCRIPCIÓN Y TOPOLOGÍA ACTUAL EN MEDIA TENSIÓN DE LOS ALIMENTADORES QUERO - CEVALLOS, PELILEO Y TISALEO.....	52
1.10.1. Subestación Montalvo.....	52
1.10.1.1. Alimentador Quero – Cevallos.....	53
1.10.1.2. Alimentador Tisaleo.....	55

1.10.2. Subestación Pelileo.....	57
1.10.2.1. Alimentador Pelileo.....	57
1.11. MODELACIÓN DE LA RED DE MEDIO VOLTAJE DE LOS ALIMENTADORES QUERO – CEVALLOS, PELILEO Y TISALEO.....	59
1.11.1. Programa de Simulación.....	59
1.11.2. Modelación de los Circuitos Primarios.....	60
1.11.2.1. Distribución de carga.....	61
1.12. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	63
<b>CAPITULO II</b>	
<b>PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO.....	81
2.2. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO.....	83
2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA ENCUESTA APLICADA A LOS USUARIOS DE LOS ALIMENTADORES QUERO – CEVALLOS, TISALEO Y PELILEO.....	86
2.3.1. Encuesta.....	87
2.3.1.1. Análisis por Preguntas.....	88
2.4. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	102
<b>CAPITULO III</b>	
<b>PROPUESTA PARA UBICAR Y JUSTIFICAR LA CONSTRUCCIÓN DE LA SUBESTACIÓN QUERO 69-13,8 KV, TUNGURUA, 2009.</b>	
3.1. PRESENTACIÓN.....	103
3.2. JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA.....	103
3.3. OBJETIVOS.....	104
3.3.1. Objetivo General.....	104
3.3.2. Objetivos Específicos.....	104
3.4. ALCANCE.....	105
3.5. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	105
3.5.1. Capacidad de la Nueva Subestación Quero.....	106
3.5.1.1. Cálculo de la Densidad de Carga Promedio.....	108

3.5.1.2. <i>Análisis en la Curva de Densidad de Carga vs kVA por milla cuadrada</i> .....	109
3.5.2. Proyección de la Demanda.....	110
3.5.2.1. <i>Subestación Montalvo</i> .....	111
3.5.2.2. <i>Alimentador Quero – Cevallos</i> .....	114
3.5.2.3. <i>Alimentador Tisaleo</i> .....	118
3.5.3. Reconfiguración de los Alimentadores.....	122
3.5.3.1. <i>Procedimiento</i> .....	122
3.5.4. Modelación de la Red.....	123
3.5.4.1. <i>Alimentador Quero – Cevallos</i> .....	125
3.5.4.2. <i>Alimentador Tisaleo</i> .....	126
3.5.4.3. <i>Alimentador Quero 1</i> .....	127
3.5.4.4. <i>Alimentador Quero 2</i> .....	128
3.5.4.5. <i>Alimentador Quero 3</i> .....	129
3.5.5. Descripción de la Subestación Quero.....	133
3.5.5.1. <i>Patio de 69 KV</i> .....	133
3.5.5.2. <i>Patio de 13,8 KV</i> .....	133
3.5.5.3. <i>Sistema de Puesta a Tierra</i> .....	134
3.5.6. Análisis Económico.....	136
3.5.6.1. <i>Ahorro por Pérdidas de Energía</i> .....	138
3.5.7. Análisis de los resultados.....	138

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## INDICE DE TABLAS Y CUADROS

CONTENIDOS	PÁG.
1.1. VARIACIONES DE VOLTAJE ADMITIDAS POR EL CONELEC.....	16
1.2. RESUMEN CARACTERÍSTICAS DE LOS DIVERSOS ESQUEMAS DE BARRA.....	37
1.3. VALORES INGRESADOS EN LA MODELACIÓN.....	60
1.4. DISTRIBUCIÓN DE CARGA EN EL ALIMENTADOR QUERO - CEVALLOS.....	67
1.5. PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA, ALIMENTADOR QUERO – CEVALLOS.....	68
1.6. REPORTE DE CAÍDAS DE VOLTAJE EN TRAMOS CRÍTICOS DE LA RED, ALIMENTADOR QUERO – CEVALLOS.....	68
1.7. DISTRIBUCIÓN DE CARGA EN EL ALIMENTADOR PELILEO.....	73
1.8. PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA, ALIMENTADOR PELILEO.....	74
1.9. REPORTE DE CAÍDAS DE VOLTAJE EN TRAMOS CRÍTICOS DE LA RED, ALIMENTADOR PELILEO.....	74
1.10. DISTRIBUCIÓN DE CARGA EN EL ALIMENTADOR TISALEO.....	78
1.11. PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA,ALIMENTADOR TISALEO.....	79
1.12. REPORTE DE CAÍDAS DE VOLTAJE EN TRAMOS CRÍTICOS DE LA RED, ALIMENTADOR TISALEO.....	79
2.1. EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO EN CIFRAS.....	86
2.2. PREGUNTA N° 1, VALORACIÓN DE OPCIONES.....	88
2.3. PREGUNTA N° 2, VALORACIÓN DE OPCIONES.....	89
2.4. PREGUNTA N° 3, VALORACIÓN DE OPCIONES.....	91
2.5. PREGUNTA N° 4, VALORACIÓN DE OPCIONES.....	92
2.6. PREGUNTA N° 5, VALORACIÓN DE OPCIONES.....	94
2.7. PREGUNTA N° 6, VALORACIÓN DE OPCIONES.....	95
2.8. PREGUNTA N° 7, VALORACIÓN DE OPCIONES.....	96
2.9. PREGUNTA N° 8, VALORACIÓN DE OPCIONES.....	98
2.10. PREGUNTA N° 9, VALORACIÓN DE OPCIONES.....	99

2.11. PREGUNTA N° 10, VALORACIÓN DE OPCIONES.....	101
3.1. CARACTERÍSTICAS DE CONDUCTORES PARA LAS TRONCALES.....	108
3.2. CARACTERÍSTICAS DE CONDUCTORES PARA LOS RAMALES.....	108
3.3. DATOS HISTÓRICOS DE DEMANDA MÁXIMA, SUBESTACIÓN MONTALVO.....	111
3.4. RESULTADOS DE LA PROYECCIÓN DE DEMANDA.....	113
3.5. DATOS HISTÓRICOS DE DEMANDA MÁXIMA, ALIMENTADOR QUERO – CEVALLOS.....	115
3.6. RESULTADOS DE LA PROYECCIÓN DE DEMANDA.....	117
3.7. DATOS HISTÓRICOS DE DEMANDA MÁXIMA, ALIMENTADOR TISALEO.....	119
3.8. RESULTADOS DE LA PROYECCIÓN DE DEMANDA.....	121
3.9. DEMANDA MÁXIMA DE LOS NUEVOS ALIMENTADORES.....	124
3.10. RESULTADOS DE LA RECONFIGURACIÓN DE LOS ALIMENTADORES.....	131
3.11. REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA.....	132
3.12. DATOS PARA EL DISEÑO DE PUESTA A TIERRA.....	135
3.13. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE TIERRAS.....	136
3.14. PRESUPUESTO REFERENCIAL SUBESTACIÓN QUERO.....	137

## **INDICE DE GRAFICOS Y FIGURAS**

<b>CONTENIDOS</b>	<b>PÁG.</b>
1.1. USOS DEL PRONÓSTICO DE LA ENERGÍA.....	6
1.2. DEMANDA EN RELACIÓN A LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS.....	12
1.3. PROBLEMAS FUNDAMENTALES DE LA PLANEACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	13
1.4. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN TIPO RADIAL.....	19
1.5. BARRA SIMPLE, INTERRUPTOR SIMPLE.....	29
1.6. BARRA SECCIONADA.....	30
1.7. DOBLE BARRA, DOBLE DISYUNTOR.....	31
1.8. DOBLE BARRA PRINCIPAL, INTERRUPTOR SIMPLE.....	32
1.9. BARRA PRINCIPAL Y BARRA DE TRANSFERENCIA.....	33

1.10. DOBLE BARRA PRINCIPAL, INTERRUPTOR Y MEDIO.....	34
1.11. BARRA TIPO ANILLO.....	36
1.12. TENSIÓN DE PASO EP Y DE CONTACTO ET.....	48
1.13. TOPOLOGÍA DEL ALIMENTADOR QUERO – CEVALLOS.....	54
1.14. TOPOLOGIA DEL ALIMENTADOR TISALEO.....	56
1.15. TOPOLOGÍA DEL ALIMENTADOR PELILEO.....	58
1.16. DISTRIBUCIÓN DE CARGA .....	61
1.17. PANTALLA PRINCIPAL DE CYMDIST.....	62
1.18. CAÍDA DE VOLTAJE, ALIMENTADOR QUERO – CEVALLOS.....	64
1.19. PERFIL DE VOLTAJE Y POTENCIA, RAMAL TRIFÁSICO.....	65
1.20. PERFIL DE VOLTAJE Y POTENCIA, RAMAL MONOFÁSICO.....	66
1.21. CAÍDA DE VOLTAJE, ALIMENTADOR PELILEO.....	70
1.22. PERFIL DE VOLTAJE Y POTENCIA, RAMAL TRIFÁSICO.....	71
1.23. PERFIL DE VOLTAJE Y POTENCIA, RAMAL MONOFÁSICO.....	72
1.24. CAIDA DE VOLTAJE, ALIMENTADOR TISALEO.....	75
1.25. PERFIL DE VOLTAJE Y POTENCIA, RAMAL TRIFÁSICO.....	76
1.26. PERFIL DE VOLTAJE Y POTENCIA, RAMAL MONOFÁSICO.....	77
2.1. RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 1.....	88
2.2. RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 2.....	90
2.3. RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 3.....	91
2.4. RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 4.....	93
2.5. RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 5.....	94
2.6. RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 6.....	95
2.7. RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 7.....	97
2.8. RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 8.....	98
2.9. RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 9.....	100
2.10. RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 10.....	101
3.1. DENSIDAD DE CARGA (KVA) POR MILLA CUADRADA.....	110
3.2. ECUACIONES DE TENDENCIA, SUBESTACIÓN MONTALVO.....	112
3.3. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA, SUBESTACIÓN MONTALVO.....	114
3.4. ECUACIONES DE TENDENCIA, ALIMENTADOR QUERO – CEVALLOS.....	115

3.5. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA, ALIMENTADOR QUERO – CEVALLOS.....	118
3.6. ECUACIONES DE TENDENCIA, ALIMENTADOR TISALEO.....	119
3.7. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA, ALIMENTADOR TISALEO.....	122
3.8. PERFIL DE VOLTAJE ALIMENTADOR QUERO –CEVALLOS.....	125
3.9. PERFIL DE VOLTAJE ALIMENTADOR TISALEO.....	126
3.10. PERFIL DE VOLTAJE ALIMENTADOR QUERO 1.....	127
3.11. PERFIL DE VOLTAJE ALIMENTADOR QUERO 2.....	129
3.12. PERFIL DE VOLTAJE ALIMENTADOR QUERO 3.....	130
3.13. MÁXIMA CAÍDA DE VOLTAJE EN LOS ALIMENTADORES.....	131
3.14. PÉRDIDAS DE POTENCIA EN LOS ALIMENTADORES.....	132



## **RESUMEN**

El presente trabajo determina la ubicación óptima de la nueva Subestación Quero, 69 – 13,8 KV perteneciente al Sistema Eléctrico de Distribución de la Empresa Eléctrica Ambato, mediante el análisis de la situación actual de los circuitos para de esta manera brindar las soluciones más adecuadas.

Con el fin de conocer los parámetros actuales de los alimentadores Quero – Cevallos, Tisaleo y Pelileo, se realiza su análisis con la ayuda del software “CYMDIST”, programa en el cual se ingresan los datos principales del sistema de distribución como son la carga conectada, la distancia, calibre de conductores y otros parámetros de gran importancia.

Luego de conocer los resultados del análisis, se realiza una encuesta a un grupo de usuarios de los alimentadores mencionados con la finalidad de conocer los principales problemas en cuanto al servicio eléctrico que reciben.

Es de gran importancia para nuestro trabajo realizar una proyección de la demanda de energía para de esta manera conocer los requerimientos en cuanto a equipos y potencia necesaria para cubrir las exigencias de los usuarios; por este motivo se realiza dicha proyección utilizando datos históricos de energía suministrada desde la Subestación Montalvo.

La ubicación de la nueva Subestación Quero se la realiza en función de la concentración de carga; una vez localizado el sitio tentativo se reconfigura los alimentadores con el objetivo de disminuir la carga, reducir las pérdidas de energía y mejorar los niveles de voltaje.

Finalmente se realiza un análisis económico acerca de los costos que esto implicaría así como también se presenta un breve diseño estructural de la nueva Subestación.

## **SUMMARY**

The present work determines the good location of the new Substation Quero, 69 - 13,8 KV belonging to the Electric System of Distribution of the Electric Company Ambato, by means of the current analysis of the situation of the circuits for this way to offer the most appropriate solutions.

With the purpose of knowing the current parameters of the feeders Quero - Cevallos, Tisaleo and Pelileo, are carried out their analysis with the help of the software "CYMDIST", it programs in which the main data of the distribution system are entered like they are the connected load, the distance, caliber of drivers and other parameters of great importance.

After knowing the results of the analysis, he is carried out a survey to an user group of the aforementioned feeders with the purpose of knowing the main problems as for the electric service that they receive.

It is of great importance for our work to carry out a projection of the energy demand for this way to know the requirements as for teams and necessary power to cover the demands of the users; for this reason he is carried out this projection using historical data of energy given from the Substation Montalvo.

The location of the new Substation Quero is carried out it in function of the load concentration; once located the tentative place is reconfigured the feeders with the objective of diminishing the load, to reduce the energy losses and to improve the voltage levels.

Finally he is carried out an economic analysis about the costs that this would imply as well as a brief structural design of the new Substation is presented.

## **CERTIFICADO**

Por el presente tengo a bien certificar, que la traducción del idioma inglés del resumen de la tesis "ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA EL DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN QUERO 69-13,8 KV, TUNGURAHUA, 2009." De los señores egresados: Jorge Bladimir Barriga Guisha y Carlos Hugo Molina Caicedo, lo realizaron bajo mi supervisión y se encuentra correctamente traducido de acuerdo a la estructura del idioma inglés.

Es todo cuanto puedo decir con honor a la verdad. Los interesados pueden hacer uso de este certificado como mejor convenga a su interés.

Atentamente;

-----

Lic. Liliana Avilés  
C.C. 050237905-0  
DOCENTE DE INGLES DEL COLEGIO NACIONAL EXPERIMENTAL SALCEDO

Latacunga, 16 de Noviembre del 2009

## INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es uno de los factores que más ha incidido en el desarrollo socio económico de los pueblos, donde los kilovatios-hora per cápita dan la medida de su estándar de vida. Por lo tanto es imperioso que su aprovechamiento y rendimiento sea óptimo, a fin de que los resultados esperados cumplan con las aspiraciones de las Empresas Eléctricas Distribuidoras, quienes han puesto gran interés en elevar sus índices de calidad y reducir las pérdidas de energía a niveles aceptables.

El problema surge a consecuencia del incremento de carga, en su mayoría residencial en los Cantones Quero, Cevallos y Pelileo de la Provincia de Tungurahua, además las elevadas longitudes que deben recorrer los alimentadores de las Subestaciones Montalvo y Pelileo causan caídas de voltaje y por ende pérdidas de energía.

Siendo estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi se ha creído conveniente y necesario realizar este trabajo de investigación ya que el problema afecta a la calidad de servicio técnico que ofrece la Empresa Eléctrica Ambato y además causa inconvenientes como la interrupción de servicio eléctrico a los abonados ubicados principalmente en los Cantones Quero, Cevallos y Pelileo de la Provincia de Tungurahua.

El aporte de este proyecto es el ubicar óptimamente la subestación Quero, realizar el estudio económico estimado de los costos que esto implicaría y además dar a conocer los beneficios técnico – económicos que se obtendrían en caso de ejecutarse esta obra.

Cumpliendo con los objetivos establecidos, se analizó la situación actual de los alimentadores en estudio, se determinó el punto de equilibrio para ubicar la nueva Subestación Quero con la ayuda del software “CYMDIST” y además se consideró la inversión que debería realizar la Empresa Eléctrica Ambato para la ejecución de esta obra.

La hipótesis con la que se trabajó fue:

El incremento de carga en los Cantones Quero, Cevallos y Pelileo, además de los largos recorridos de los alimentadores primarios hacen necesaria la construcción de la nueva subestación Quero 69-13,8 KV en la Provincia de Tungurahua.

De acuerdo a los resultados obtenidos se pudo concluir la veracidad de la hipótesis, siendo ésta demostrada técnicamente y mediante las encuestas realizadas a los usuarios ubicados en los puntos de servicio de los alimentadores.

Los métodos de investigación utilizados son el científico, el analítico sintético y el descriptivo, siendo el primero el más utilizado en el desarrollo de la propuesta.

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos son la observación y la encuesta.

El primer capítulo consta del fundamento teórico, así como la determinación del estado actual del sistema de distribución a nivel de alimentadores primarios que intervienen en el área mencionada, basados en los datos existentes del Sistema Informático de Distribución de la EEASA y complementados con la modelación digital de la red de media tensión.

El segundo capítulo muestra los resultados de la encuesta aplicada a los usuarios de los alimentadores Quero – Cevallos, Tisaleo y Pelileo; al mismo tiempo que se comprueba la hipótesis planteada.

El tercer capítulo presenta la propuesta realizada para ubicar la Subestación Quero, la proyección de la demanda futura y los resultados obtenidos mediante la reconfiguración de los alimentadores mencionados, así como también se muestra una comparación entre el estado inicial y final de los parámetros técnicos del sistema eléctrico de distribución.

## **CAPÍTULO I**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA**

# **CONCEPTOS GENERALES Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA EN MEDIO VOLTAJE**

## **1.1. CARGA DE UN SISTEMA ELÉCTRICO**

El abastecimiento de energía eléctrica se da través de tres etapas principales que son: generación, transmisión y distribución, ligando la comercialización a esta última.

La red de distribución es la encargada de llevar la energía eléctrica hacia los consumidores finales en forma eficiente y bajo estándares de calidad de servicio. Este proceso se lo realiza mediante redes de alimentación y subestaciones de distribución, estos deben ser continuamente adaptados a los reiterados cambios de la demanda.<sup>1</sup>

La planificación de la expansión de los sistemas de distribución es una tarea muy compleja que involucra un gran costo de inversión y una diversidad de alternativas posibles, cuyo problema nace por la necesidad de abastecer la demanda eléctrica creciente mediante el aumento en la capacidad de las subestaciones de distribución, transferencia de carga, reconfiguración de alimentadores o en su defecto construyendo nuevas subestaciones; sumado a esto la aleatoriedad de la carga y la incertidumbre de la ubicación geográfica de nuevos centros de carga dificultan la realización de una planificación óptima.

---

<sup>1</sup> Jacinto Viqueira Landa, “Redes Eléctricas”, 1990

## **1.1.1. Conceptos generales**

### **1.1.1.1. Carga**

Es la potencia eléctrica consumida por los equipos de los usuarios; como pueden ser electrodomésticos, maquinaria, etc., que puede tener diversos comportamientos de acuerdo al origen de los mismos.

### **1.1.1.2. Carga o capacidad instalada**

Es la suma de todas las potencias nominales de los equipos conectados a la red expresados en KVA ó MVA.

### **1.1.1.3. Demanda**

Es la carga de un sistema ó instalación eléctrica, la cual es promediada en un intervalo de tiempo dado denominado intervalo de demanda, por lo general, estos intervalos tienen duración de 15 minutos.<sup>2</sup>

### **1.1.1.4. Demanda Máxima**

Es la más grande de todas las demandas que se presentan en un periodo específico de tiempo, este periodo puede ser diario, mensual ó anual. Este valor tiene mucha importancia, pues con este dato se pueden determinar las condiciones extremas en la operación de un sistema.

### **1.1.1.5. Demanda Promedio**

Es una demanda equivalente en un período de tiempo determinado (día, semana,

---

<sup>2</sup> <http://bieec.epn.edu.ec>



mes, año) y está dada por:

$$D \text{ promedio} = \frac{E}{T}$$

Donde:

E: Energía total en el periodo.

T: Duración del periodo.

#### **1.1.1.6. Demanda coincidente (diversificada)**

Es la demanda de un grupo de cargas en un intervalo particular. La demanda máxima diversificada es normalmente menor que la suma de las demandas máximas unitarias o individuales.

#### **1.1.1.7. Factor de demanda**

Es la relación entre la demanda máxima de un sistema y la potencia total instalada.

$$fd = \frac{D \text{ max}}{\text{Potencia Instalada}}$$

Donde:

Dmax: Demanda máxima del sistema.

Potencia instalada en KVA.

#### **1.1.1.8. Densidad de carga**

Es el cociente de la carga máxima y el área de la zona considerada, se expresa en, KVA/km<sup>2</sup>, MVA/km<sup>2</sup>. En ocasiones se usa la densidad lineal expresada en KVA/m.

#### **1.1.1.9. Factor de carga**

Es la relación entre la demanda promedio de un periodo de tiempo establecido con respecto a la demanda máxima del mismo periodo.

$$fc = \frac{D \text{ promedio}}{D \text{ max}}$$

#### **1.1.1.10. Factor de pérdidas**

Es la relación entre las pérdidas de potencia promedio y las pérdidas de potencia a demanda máxima, durante un periodo de tiempo específico.

#### **1.1.1.11. Factor de diversidad**

Es la relación entre la suma de las demandas máximas individuales de las subdivisiones de un sistema y la máxima demanda del sistema como un todo. Este factor es usualmente mayor o igual que la unidad.

Al inverso del factor de diversidad se le denomina factor de coincidencia.

#### **1.1.1.12. Curva de carga**

Es el resultado de graficar las demandas que son registradas en cada intervalo de demanda para un periodo de tiempo requerido, ciertamente la curva de carga diaria es la más utilizada. Estas curvas presentan características propias de acuerdo al tipo de carga que maneja el sistema estudiado, de esta manera se obtienen diferentes curvas según el tipo de usuario; residencial, comercial, industrial ó combinaciones de estas.<sup>3</sup>

#### **1.1.1.13. Centro de gravedad de carga**

---

<sup>3</sup> <http://bieec.epn.edu.ec>

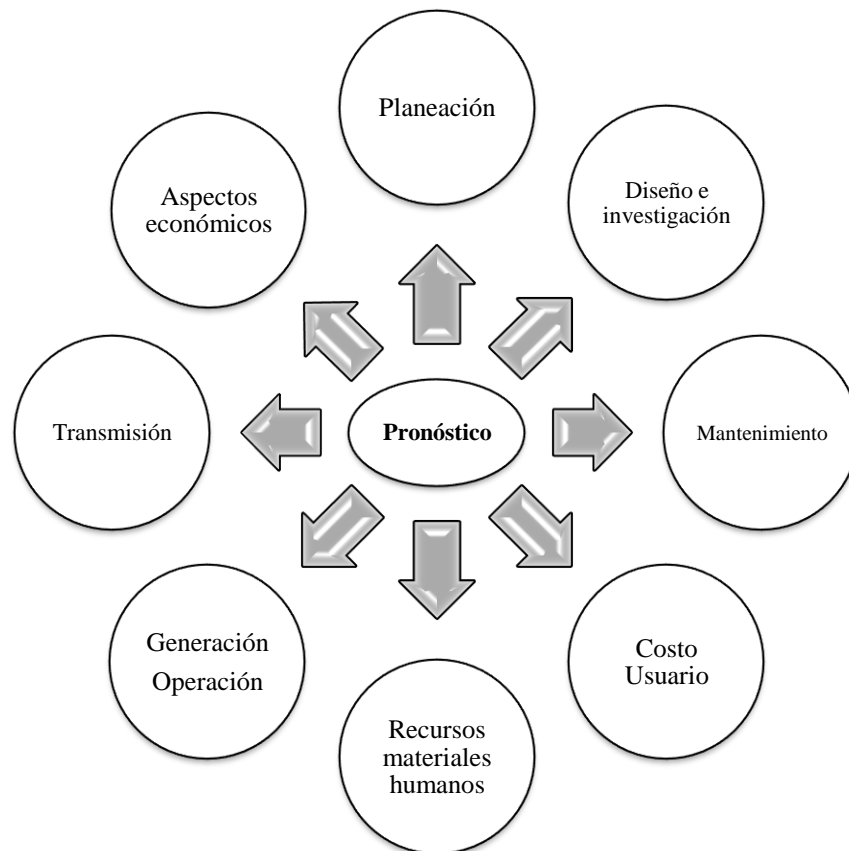
El centro de gravedad de una carga se denomina a un punto en donde sus momentos eléctricos son iguales para todas las cargas en el área considerada.

## 1.2. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

Es el conocimiento y análisis de la evolución histórica de la potencia y energía en un Sistema Eléctrico de Potencia cualquiera.<sup>4</sup>

El pronóstico de la demanda de energía eléctrica para un sistema eléctrico de potencia, ha causado interés desde el momento que las redes eléctricas se instalaron como sistema básico de transporte y distribución de energía y por haber proliferado el uso masivo de la energía eléctrica en el entorno industrial, comercial y doméstico. Por lo cual el pronóstico es útil para diferentes usos, como se muestra en la figura 1.1.

FIGURA N° 1.1  
USOS DEL PRONÓSTICO DE LA ENERGÍA



<sup>4</sup> “Apuntes de Octavo ciclo Ing. Eléctrica”, 2008.

Fuente: Apuntes de ingeniería eléctrica  
Recopilado por: Grupo de investigadores

Si los pronósticos realizados se acercan lo más posible a la realidad, se aportará un sin número de parámetros útiles para la planificación, evitando amenazas en el exceso o baja capacidad de transporte y distribución de energía eléctrica. En cambio, una sobrestimación en el pronóstico da lugar a malas decisiones, provocando con esto, pérdidas económicas.

Para realizar una proyección de la demanda, se debe antes conocer los factores que influyen en el comportamiento de la misma, entre estos tenemos:

- Tipo de usuario (Residencial, comercial o industrial).
- Situación socioeconómica del país, es decir, lo que la comunidad estaría dispuesta a comprar.
- Estimación sobre el comportamiento tarifario en los próximos años. (Si las tarifas suben, el consumo baja)
- Factores geográficos, es decir, si existe o no saturación de consumo en el área de estudio.
- Oferta; si existe o no disponibilidad por parte de la generación para cubrir los requerimientos de la empresa.
- Existencia o no de fuentes de energía alternativa más baratas.

### **Principios básicos para el análisis de Estudio de Demanda**

- Identificación de la casualidad (causa vs efecto), por ejemplo si el Producto Interno Bruto aumenta entonces aumentará la demanda a nivel nacional.
- Sensibilidad, por ejemplo la variación de la demanda respecto a la variación del precio de la energía.
- Funcionalidad; que los resultados que arroje el estudio sean aplicables a la realidad.
- Simplicidad; mientras menos complejo sea es mucho mejor.

La proyección de la demanda puede ser realizada utilizando diferentes métodos que pueden ser agrupados en tres categorías.

- ✓ Métodos Perspectivos
- ✓ Métodos Normativos
- ✓ Métodos de confrontación Demanda – Oferta

### **1.2.1. Métodos Perspectivos**

Los métodos prospectivos sean estadísticos o econométricos basan sus proyecciones futuras en necesidades pasadas.

#### **1.2.1.1. Métodos estadísticos**

Estos métodos proyectan la demanda futura basados solamente en lo que ocurrió en el pasado, de acuerdo a estos parámetros se realiza un análisis de series estadísticas utilizando la información disponible.

- ✓ **Series de tiempo:** Este método requiere la menor información posible, dado que la única variable independiente es el tiempo. Los resultados obtenidos pueden ser satisfactorios para pronósticos en corto plazo, en tanto que en el mediano y largo plazo puede estar sujeto a una proyección no tan acertada.
- ✓ **Regresiones y Extrapolaciones:** Al igual que el método anterior presenta como variable independiente al tiempo, pero determina la futura extrapolando la tendencia de la información pasada. Puesto que la variable independiente es el tiempo, la proyección de la demanda se presenta en diferentes tiempos (años). La recta o curva de regresión de la demanda sobre el tiempo se llama frecuentemente recta de tendencia o curva de tendencia.

### 1.2.1.2. Métodos Econométricos

En estos métodos el análisis pretende presentar cualitativamente las relaciones causales de variables económicas (por ejemplo el Producto Interno Bruto), con aquellas del interés particular, en el caso presente la energía.

Modelo econométrico típico:

$$E(i, t) = f(N, Y, PE(i), PC(j), E(i, t - 1), S); \text{ donde:}$$

$E(i, t)$  = Demanda de energía del sector  $i$  en el periodo  $t$

$N$  = Número de abonados

$Y$  = Ingreso por abonado

$PE(i)$  = Precio de la energía en el sector  $i$

$PC(j)$  = Precio del combustible competitivo  $j$

$E(i, t-1)$  = Demanda de la energía del sector  $i$  en el periodo  $t-1$

$S$  = Vector de saturación de los principales artefactos eléctricos.

### 1.2.2. Métodos Normativos

Debido a variables que no consideran los métodos anteriores que influyen en el comportamiento de la demanda tales como: económicas, políticas de ahorro energético, crecimiento poblacional – económico, etc. No se puede tener una proyección bien fundamentada, por lo tanto, se trata de normar el criterio de proyección de la demanda con el objetivo de homogenizar el método de proyección de demanda que cada empresa realiza utilizando las mismas variables de análisis.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> [http://elprisma.com\\_ingelec](http://elprisma.com_ingelec)

### 1.2.3. Métodos de confrontación oferta – demanda

Este método utiliza modelos de proyección muy complejos, ya que intervienen un sin número de variables en cada modelo tanto de oferta como demanda del producto, que para nuestro caso son la potencia y energía eléctrica.

- ✓ **Por sectores de aplicación:** Este tipo de modelos pueden ser sectoriales empresariales, para el estudio de sistemas energéticos nacionales, macro modelos en donde la energía solo es una parte del estudio.
- ✓ **Por las técnicas empleadas:** Los modelos con optimización aparentemente han alcanzado un desarrollo que permite puramente académico utilizando algoritmos matemáticos para su desarrollo, por otro lado, la simulación ha sido posible gracias al desarrollo de programas computacionales que permiten a más de simular el sistema eléctrico, simular condiciones futuras.

### 1.2.4. Proyección Global

Utiliza un método perspectivo, el cual se sirve de lo que ha pasado anteriormente, para luego a través de extrapolaciones, determinar lo que en futuro pasaría.

Este método presupone que el futuro va a depender de lo que ha ocurrido anteriormente, por esta razón para que la proyección sea lo más cercana a la realidad se suele involucrar diversos escenarios, uno optimista, uno medio y otro pesimista.

**El escenario optimista:** Considera un desarrollo económico más acelerado del sector, incorpora la totalidad de los proyectos de inversión, se supone un crecimiento constante de la demanda.

**El escenario Medio:** En este escenario se considera la proyección base del crecimiento económico del país, al igual que el optimista la demanda crece constantemente incluyendo un incremento mensual de tarifas.

**El escenario pesimista:** Se considera que la situación económica de la comunidad empeorará en el futuro, por lo que la demanda de energía disminuirá gradualmente.

### **1.2.5. Factores que afectan la demanda eléctrica**

La demanda de energía eléctrica de un sistema eléctrico de potencia, es influenciada por varios factores tales como: variables climatológicas, socioeconómicas y demográficas. De hecho, el número de las variables requeridas depende de la naturaleza del pronóstico, por lo tanto estas variables deben ser seleccionadas cuidadosamente. En el pasado, se sobre estimaba el pronóstico de la demanda de energía, lo cual llevaba a realizar pronósticos rápidos, dando como resultado inversiones de capital en equipo y crecimiento de la red eléctrica, lo cual no sería aprovechado de forma inmediata.<sup>6</sup>

#### **1.2.5.1. Factores Comunes**

Todos los factores, tales como: variables climatológicas, socioeconómicas y demográficas, actúan directa o indirectamente sobre el patrón de la demanda de energía eléctrica. Algunos de estos factores reflejan cambios importantes en su consumo y en su producción, por lo tanto, la demanda de energía eléctrica de un SEP se ve influenciada por estos factores. Como ejemplo de estas variables, se tiene: la temperatura, la humedad, las lluvias, el índice de la comodidad, número de consumidores conectados, crecimiento de la población y el producto interno bruto.

---

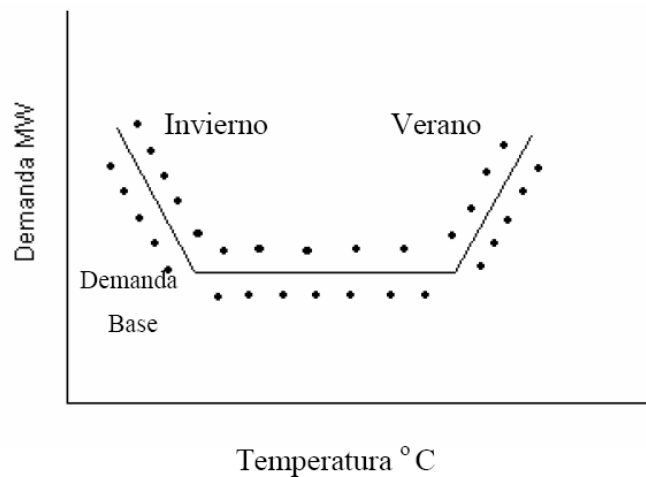
<sup>6</sup> Empresa Eléctrica Quito, “Proyecciones de demanda”, 2007.



### 1.2.5.2. Factores Ocasionales

Puesto que además de las variables anteriormente dichas, existen algunas variables que ocasionalmente se presentan, las cuales pueden o no provocar alguna influencia sobre el efecto de la carga, tal como: los festivales, los acontecimientos religiosos, los días de fiesta nacionales, eventos deportivos, huelgas o catástrofes.

FIGURA N° 1.2  
DEMANDA EN RELACIÓN A LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS



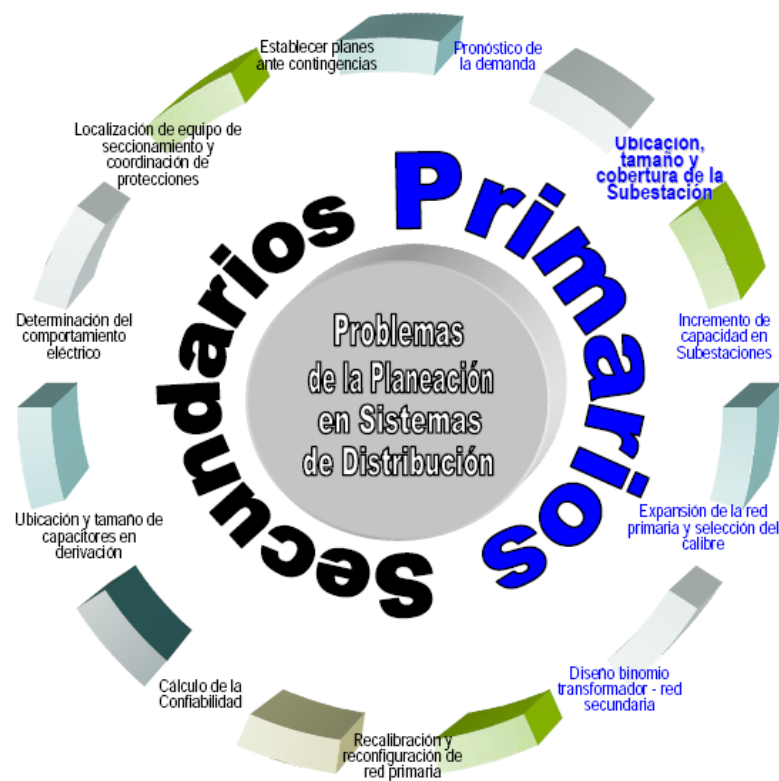
Fuente: Localización óptima de subestaciones, R. Figueroa  
Recopilado por: Grupo de investigadores

### 1.2.5.3. Factores estacionales

La demanda eléctrica de un SEP, también es analizado por períodos o etapas. La demanda durante el día se diferencia durante la noche, y la demanda durante días laborales, se diferencia de los fines de semana. La demanda en un día extremadamente caliente, se contrasta de no extremadamente frío. El crecimiento de demanda eléctrica durante un tiempo económico de auge, se diferencia considerablemente de la demanda durante un período de austeridad o recesión.

A continuación en la figura 1.3, se muestran los principales problemas que surgen en la planeación de los sistemas de distribución.

FIGURA N° 1.3  
PROBLEMAS FUNDAMENTALES DE LA PLANEACIÓN DEL SISTEMA  
DE DISTRIBUCIÓN



Fuente: Localización óptima de subestaciones, R. Figueroa  
Recopilado por: Grupo de investigadores

### 1.3. CONTINUIDAD Y CALIDAD DE SERVICIO ELÉCTRICO

Como continuidad de servicio se entenderá entregar energía eléctrica a los abonados sin interrupciones, es decir tiene que ver con la presencia o ausencia de voltaje en algún punto del sistema, cuando no hay voltaje en un punto se dice que

existe una interrupción del servicio. Si el tiempo de interrupción excede los tres minutos se denomina de duración larga y son las únicas tomadas en cuenta en continuidad, ya que necesitan su respectiva inspección para reparar y reponer uno ó más componentes de la red que han sido afectados.

La calidad de servicio eléctrico se entiende que dicha energía se entregue con una frecuencia establecida y una buena regulación de tensión, estos factores determinan el prestigio de una empresa, y a su vez menores pérdidas económicas por interrupciones indebidas que se les puede reducir cuando se ha hecho una buena elección del sistema básico de la subestación.

### **1.3.1. Confiabilidad**

La confiabilidad de un sistema se define como la habilidad de que un elemento, equipo o sistema, efectúe una función requerida es decir que no falle, bajo ciertas condiciones nominales de operación y en un periodo de tiempo establecido.

### **1.3.2. Disponibilidad e Indisponibilidad**

La disponibilidad es la probabilidad de encontrar un elemento ó sistema en estado operativo en un instante dado, se puede interpretar como el tiempo que un elemento ó sistema se encuentra en servicio dentro de un periodo específico, se puede procurar en horas al año. Lo opuesto definirá la INDISPONIBILIDAD, es decir la probabilidad de encontrarlo fuera de servicio en ese instante.

### **1.3.3. Aspectos de Calidad<sup>7</sup>**

La Calidad de Servicio se medirá considerando los aspectos siguientes:

#### **Calidad del Producto:**

- a) Nivel de voltaje

---

<sup>7</sup> Regulación No. CONELEC-004/01

- b) Perturbaciones de voltaje
- c) Factor de Potencia

**Calidad del Servicio Técnico:**

- a) Frecuencia de Interrupciones
- b) Duración de Interrupciones

**Calidad del Servicio Comercial:**

- a) Atención de Solicitudes
- b) Atención de Reclamos
- c) Errores en Medición y Facturación

El Distribuidor debe implementar y mantener una base de datos con la información sobre los componentes de la red asociados a la alimentación eléctrica de cada Consumidor, esto es:

- ✓ Red de AV.
- ✓ Subestación de distribución AV/MV.
- ✓ Circuito de MV.
- ✓ Centros de transformación MV/BV
- ✓ Circuito de bajo voltaje y ramal al que está conectado.
- ✓ Identificación del cliente (número de suministro)

La tarea del levantamiento de la información necesaria para la determinación de los índices de calidad en las diversas etapas de control, es responsabilidad del Distribuidor. La información recopilada, debe ser suficiente para permitir al CONELEC controlar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en el Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad.

### 1.3.4. Calidad del producto

Los aspectos de calidad del producto técnico que se controlarán son el nivel de voltaje, las perturbaciones y el factor de potencia, siendo el Distribuidor responsable de efectuar las mediciones correspondientes, el procesamiento de los datos levantados, la determinación de las compensaciones que pudieran corresponder a los consumidores afectados y su pago a los mismos. Toda la información deberá estar a disposición del CONELEC al momento que se le requiera.

El Distribuidor no cumple con el nivel de voltaje en el punto de medición respectivo, cuando durante un 5% o más del período de medición de 7 días continuos, en cada mes, el servicio lo suministra incumpliendo los límites de voltaje.

Las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal se señalan a continuación:

TABLA N° 1.1  
VARIACIONES DE VOLTAJE ADMITIDAS POR EL CONELEC

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

Fuente: Regulación N° 004/01 CONELEC<sup>8</sup>  
Recopilado por: Grupo de investigadores

---

<sup>8</sup> Regulación No. CONELEC-004/01

### 1.3.5. Calidad de servicio técnico

La calidad del servicio técnico prestado se evalúa sobre la base de la frecuencia y la duración total de Interrupción.

Las interrupciones se pueden clasificar de acuerdo a los parámetros que se indican a continuación.

#### a) **Por su duración**

- Breves, las de duración igual o menor a tres minutos.
- Largas, las de duración mayor a tres minutos.

#### b) **Por su origen**

- Externas al sistema de distribución.
  - ✓ Otro Distribuidor
  - ✓ Transmisor
  - ✓ Generador
  - ✓ Restricción de carga
  - ✓ Baja frecuencia
  - ✓ Otras
- Internas al sistema de distribución.
  - ✓ Programadas
  - ✓ No Programadas

#### c) **Por su causa**

- Programadas.
  - ✓ Mantenimiento
  - ✓ Ampliaciones
  - ✓ Maniobras
  - ✓ Otras
- No programadas (intempestivas, aleatorias o forzadas).
  - ✓ Climáticas
  - ✓ Ambientales

- ✓ Terceros
- ✓ Red de alto voltaje (AV)
- ✓ Red de medio voltaje (MV)
- ✓ Red de bajo voltaje (BV)
- ✓ Otras

**d) Por el voltaje nominal**

- Bajo voltaje
- Medio voltaje
- Alto voltaje

Para el cálculo de los índices de calidad se considerarán todas las interrupciones del sistema con duración mayor a tres (3) minutos, incluyendo las de origen externo, debidas a fallas en transmisión. No son consideradas las interrupciones con duración igual o menor a tres (3) minutos.

No se considerarán las interrupciones de un Consumidor en particular, causadas por falla de sus instalaciones, siempre que ellas no afecten a otros Consumidores.

Tampoco se considerarán para el cálculo de los índices, pero sí se registrarán, las interrupciones debidas a suspensiones generales del servicio, racionamientos, desconexiones de carga por baja frecuencia establecidas por el CENACE; y, otras causadas por eventos de fuerza mayor o caso fortuito, que deben ser notificadas al CONELEC.

En el caso en que las suspensiones generales del servicio sean producidas por la Empresa Distribuidora, estos si son registrados.

## **1.4. SUBESTACIONES ELÉCTRICAS**

Las subestaciones de distribución son básicamente un grupo de equipos eléctricos, encargados de transformar la energía de alto voltaje de transmisión o

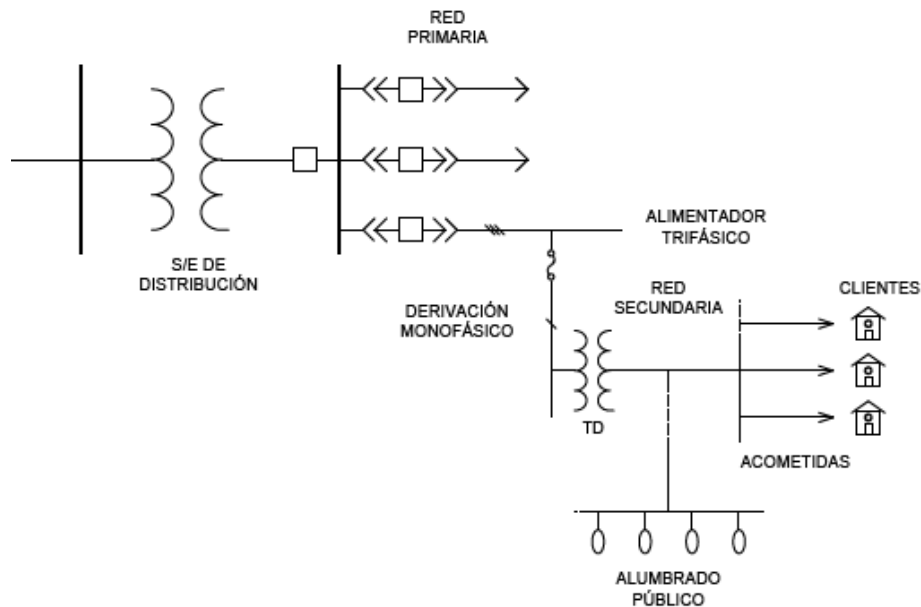
subtransmisión, a energía de medio voltaje de distribución, para a través de alimentadores primarios llegar hacia los transformadores de distribución y de estos por medio de las redes secundarias de distribución y acometidas hacia el usuario final, en este punto es censada por medio de un medidor o contador de energía para su comercialización.

### 1.4.1. Sistema de Distribución

Es la parte del sistema eléctrico de potencia que tiene como función el suministrar el servicio de energía eléctrica a los clientes, esto lo realiza mediante un conjunto de elementos que la constituyen como líneas, redes y equipos eléctricos.

En la figura 1.4 se muestra un sistema de distribución típico radial, con todos sus componentes, además de estos, se suman todos los equipos asociados con la protección, seccionamiento, control y medición del sistema.

FIGURA N° 1.4  
SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN TIPO RADIAL



Fuente: Manual de ingeniería eléctrica, Ledesma.  
Recopilado por: Grupo de investigadores



### **1.4.2. Alimentadores**

Los alimentadores primarios son los encargados de distribuir la potencia entregada por la subestación, en un nivel de voltaje determinado, hacia los usuarios industriales, comerciales y residenciales. Por esta razón los alimentadores primarios son el principal camino de la continuidad que debe existir entre los usuarios y la subestación. Estos alimentadores primarios tienen asociados a ellos una impedancia, una demanda y un factor de potencia.

Los alimentadores pueden ser aéreos ó subterráneos, siendo los primeros los más populares por su economía. Existen varias configuraciones de alimentadores dependiendo de los requerimientos, siendo los de tipo radial los más utilizados, pues son fáciles de operar y son más económicos que el resto.

### **1.4.3. Ubicación de nuevas subestaciones**

Como es lógico la presencia de una nueva subestación y su capacidad se determina después de un estudio de las condiciones actuales de un sistema y de una proyección de la carga, con sus consecuencias en el sistema. Para determinar la ubicación de una nueva subestación se debe conjugar una serie de parámetros para que esta ubicación satisfaga los criterios eléctricos y económicos. Como primer criterio en lo que se refiere a la parte eléctrica, se debe decir que una subestación debe localizarse en la cercanía del centro de carga al que va a servir.

Por otro lado hay que considerar la localización de otras subestaciones existentes, así como de líneas de subtransmisión; se debe analizar el estado y capacidad de las mismas. Otros factores importantes a considerar son: niveles de voltaje de los primarios, tamaño y capacidad de los equipos a utilizar, calibre de conductores, etc.

Luego de elegir la localización de la nueva subestación, es lógico que el siguiente paso sea la selección de la ruta de los alimentadores primarios. Se debe tener en

cuenta el área de servicio proyectada, para que estas rutas sean designadas para tener la mejor configuración técnica económica.

Es muy importante conjugar los criterios técnicos con los criterios económicos, en este análisis deben ser considerados factores importantes como por ejemplo disponibilidad de terrenos, regulaciones del uso de la tierra, facilidades para movimiento de equipo durante la construcción y el mantenimiento, espacio que permita la salida de todos los primarios previstos en el desarrollo final de la subestación, que el recorrido de los troncales de los primarios se los realice en lo posible por calles sin mucho tráfico para facilitar el mantenimiento y reducir el riesgo de daños físicos, facilidad para las líneas de transmisión que requieren mayor espacio que un primario de distribución, la posibilidad de construcción de líneas subterráneas para alimentar a áreas de mayor densidad de carga, etc. Se debe también tener en cuenta el tiempo necesario para estudios, diseños, licitaciones o concurso si fuera necesario para la construcción y el equipo, compra del equipo y ejecución de la obra. Paralelamente se debe prever la operación y mantenimiento de las nuevas instalaciones.

Desde el punto de vista del sistema de subtransmisión, la subestación de distribución debe ubicarse en la periferia del área urbana, dado que esta ubicación facilita las instalaciones requeridas para subtransmisión. Al ubicar las subestaciones de distribución en la periferia del área urbana, quedarán en el límite de su área de influencia, es decir, lo más alejadas del centro de gravedad de la carga de dicha área. Esta situación representa un problema para la red. Por lo tanto debe ser el sistema de distribución el que determine el posicionamiento de una subestación, pero con cierta flexibilidad que permita una conexión adecuada al sistema de subtransmisión.

Muchas veces por problemas geográficos, las áreas de subestaciones y primarios, no serán de una forma geométrica definida. Esta configuración obligará en ocasiones, que un primario no tome carga desde la subestación. En estos casos es

importante asignar menor carga relativa a los primarios cuyas áreas están lejos de la subestación que a los que están próximos.

## **1.5. DIMENSIONAMIENTO DE UNA SUBESTACIÓN**

El dimensionamiento de una subestación es una de las actividades principales dentro de la etapa de diseño, puesto que incide prácticamente en todas las demás actividades y por lo tanto afecta el costo global.

Los niveles de voltaje determinan las necesidades de aislamiento que garantizan la operación confiable y segura para el personal y el equipo instalado en una subestación. Dicho aislamiento impone la especificación de materiales aislantes y de distancias entre los diferentes elementos de patio, de tal forma que los niveles de tensión a los cuales están sometidos no rompan la rigidez dieléctrica del material aislante. Dicho de otra manera, los niveles de tensión y el material aislante determinan las distancias entre los diferentes elementos de patio de una subestación. A su vez, dichas distancias en conjunto con la potencia de trabajo determinan el tamaño de los equipos a utilizar.

En tal sentido, los principales factores a considerar en el dimensionamiento de una subestación son las distancias críticas fase - fase y fase - tierra que deben existir en la subestación para garantizar un nivel de aislamiento adecuado y las distancias de seguridad requeridas para las labores de revisión y mantenimiento sin peligro alguno para el personal.

La determinación de estas dimensiones se efectúa mediante el cálculo de las distancias dieléctricas entre las partes vivas del equipo y entre estas y las estructuras, muros, rejas y el suelo, de acuerdo con el siguiente orden.

1. Distancia entre fases.
2. Distancia entre fase y tierra.
3. Distancia de seguridad.

4. Altura de los equipos sobre el nivel del suelo.
5. Altura de las barras colectoras sobre el suelo.
6. Altura de remate de las líneas de transmisión que llegan a la subestación.

Para obtener la adecuada coordinación de aislamiento en una subestación es necesario fijar las distancias a través del aire entre partes vivas de fases diferentes y entre partes vivas de fase y tierra. Para ello es necesario definir ciertos conceptos que se utilizan para comprender el problema.

### **1.5.1. Tamaño**

El tamaño de las subestaciones de distribución está mayormente determinado por el voltaje de servicio de distribución y clasificaciones normalizadas de la línea del alimentador.

### **1.5.2. Capacidad operativa del transformador en condiciones normales**

Los transformadores de potencia clase distribución, tienen etapas múltiples de enfriamiento con una clasificación de capacidad para cada modo operacional sin exceder un aumento predeterminado en la temperatura del transformador. Operar al transformador fuera del desempeño especificado lo fatigará y acortará su vida.

### **1.5.3. Capacidad de sobrecarga del transformador ante contingencias**

Los transformadores presentan demandas de potencia cíclica. Los transformadores pueden ser sobrecargados por determinado tiempo ante una emergencia eléctrica sin acortar indebidamente la vida de servicio de la unidad.

#### **1.5.4. Expandibilidad**

El diseño de la subestación deberá tomar en consideración: la carga inicial esperada, los prospectos de crecimiento de carga, las capacidades de respaldo de otras subestaciones, etc. Estos y otros factores afectan el tamaño de la subestación diseñada y su costo. Si los prospectos para crecimiento de carga tienden hacia arriba se debe tomar las consideraciones y medidas necesarias para expandir el sistema de transmisión.

#### **1.5.5. Limitaciones de los equipos**

Algunos componentes como el transformador deben dimensionarse para operar en contingencias de carga críticas, tal que pueda llevar temporalmente la carga transferida de otro transformador fallado. Los interruptores, seccionadores y otros equipos deben también dimensionarse para el peor caso de contingencia.

#### **1.5.6. Desarrollo geográfico de la zona y restricciones eléctricas**

Las limitaciones de tipo físico y eléctrico restringen el número de alimentadores. Los factores eléctricos son: capacidad disponible del sistema de transmisión local, la capacidad del transformador, el voltaje de servicio de distribución y la capacidad de las redes de distribución. Son limitaciones físicas: la disponibilidad de rutas de alimentadores, obstáculos naturales como lagos, ríos, barrancas; las leyes ambientales restringen también ciertos cruces de líneas de transmisión.

### **1.6. CLASIFICACIÓN DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS**

En un sistema eléctrico típico, la energía eléctrica se genera de diversos modos, pero siempre es transmitida hacia los centros de carga, sean estos clientes especiales, pequeños poblados, o grandes ciudades. Pero en la mayoría de los casos, la electricidad transmitida a estos puntos superan los miles de voltios,

siendo necesarias subestaciones de transformación, en las que se obtienen niveles de voltajes distintos a los enviados desde los centros de generación, aunque también pueden existir subestaciones carentes de equipos de transformación, cuya función es simplemente la de conexión.

Podemos considerar a las subestaciones como nodos eléctricos, en los cuales se conectan distintos circuitos entre sí, mediante equipos de corte y seccionamiento.

Las subestaciones suelen clasificarse de acuerdo a su nivel de voltaje, de acuerdo a su configuración, de acuerdo a su operación, de acuerdo a su función y de acuerdo a su exposición física. A continuación, se mencionan las más comunes.

#### **De acuerdo a su nivel de voltaje**

- ✓ Alto voltaje: (69 KV, 138 KV)
- ✓ Distribución: (13,8 KV; 7,9 KV)
- ✓ Bajo voltaje: (voltajes de distribución secundarios).

#### **De acuerdo a su configuración**

- ✓ Barra simple
- ✓ Doble barra
- ✓ Doble barra más by pass
- ✓ Doble barra más seccionador de transferencia
- ✓ Doble barra mas barra de transferencia
- ✓ Interruptor y medio
- ✓ Anillo
- ✓ Doble anillo

### De acuerdo a su función

- ✓ Generación
- ✓ Transformación (elevadora o reductora)
- ✓ Mixta (generación y transformación)
- ✓ Compensación (capacitiva serie y capacitiva paralelo)
- ✓ Seccionamiento
- ✓ Rectificadoras

### De acuerdo a su exposición física

- ✓ **Blindada:** La subestación se encuentra en el interior de un recinto notablemente más pequeño que aquellas que a la intemperie, y todos sus elementos se encuentran aislados entre sí por un blindaje dieléctrico, constituido principalmente por hexafluoruro de azufre y vacío, reduciendo en gran medida las distancias de seguridad entre los equipos.
- ✓ **Exterior:** Los equipos se encuentran instalados a la intemperie, y aislados unos de otros mayormente por aire, siendo necesarias grandes distancias entre estos.
- ✓ **Interior:** La mayor parte de los equipos se encuentran resguardados de los elementos, sea de forma subterránea o en edificaciones industriales o comerciales, aunque los transformadores suelen situarse en el exterior.
- ✓ **Mixta:** Algunos de los equipos se encuentran resguardados.

Es difícil hacer una clasificación precisa de las subestaciones ya que estas tienen características diferentes, sin embargo a continuación se detallan las funciones principales de algunas de ellas.

### **Subestaciones Elevadoras**

Este tipo de subestaciones se usa normalmente en las centrales eléctricas, cuando se trata de elevar los voltajes de generación a valores de voltajes de transmisión.

### **Subestaciones Reductoras**

En estas subestaciones, los niveles de voltaje de transmisión se reducen al siguiente (subtransmisión), o de subtransmisión a distribución o eventualmente a utilización.

Estas son subestaciones que se encuentran en las redes de transmisión, subtransmisión o distribución y constituyen el mayor número de subestaciones en un sistema eléctrico.

### **Subestaciones de Enlace**

En los sistemas eléctricos se requiere tener mayor flexibilidad de operación para incrementar la continuidad del servicio y consecuentemente la confiabilidad, por lo que es conveniente el uso de las llamadas subestaciones de enlace.

### **Subestaciones en anillo**

Estas subestaciones se usan con frecuencia en los sistemas de distribución para interconectar subestaciones que están interconectadas a su vez con otras.

### **Subestaciones radiales**

Cuando una subestación tiene un solo punto de alimentación y no se interconecta con otras, se denomina radial.



## **Subestaciones de switcheo**

En estas subestaciones no se tienen transformadores de potencia, ya que no se requiere modificar el nivel de voltaje de las fuentes de alimentación y sólo se hacen operaciones de conexión y desconexión (maniobra o switcheo).

La elección del emplazamiento de una subestación determinará el tamaño de la misma, ya que las distancias de seguridad entre los equipos de la subestación varían considerablemente según se encuentren a la intemperie (4 m), en interior (2 m) o ésta sea blindada (0.15 m).

Para que una subestación de alto voltaje trabaje correctamente, se debe coordinar entre los asistentes que operan la subestación directamente, bien sea en el patio de maniobras sobre los mismos equipos o desde un computador en la sala de control de la subestación, y los operadores que utilizan distintos medios de comunicación para realizar las ordenes de control sobre los equipos primarios de potencia.

Es de suma importancia entonces que el operador de la subestación posea gran destreza en el seguimiento de los parámetros de ésta, conocimiento de los procedimientos que han sido establecidos y las restricciones presentes en dichos procedimientos. Para que una maniobra pueda ser realizada, es necesario que se realice una secuencia de acciones que controlan los equipos en la subestación, a esta secuencia u orden en los pasos se la conoce como enclavamiento, el que depende tanto de la maniobra que se quiere realizar, del estado actual del sistema y de la configuración de la subestación.

### **1.7. TIPOS DE ESQUEMAS DE BARRA**

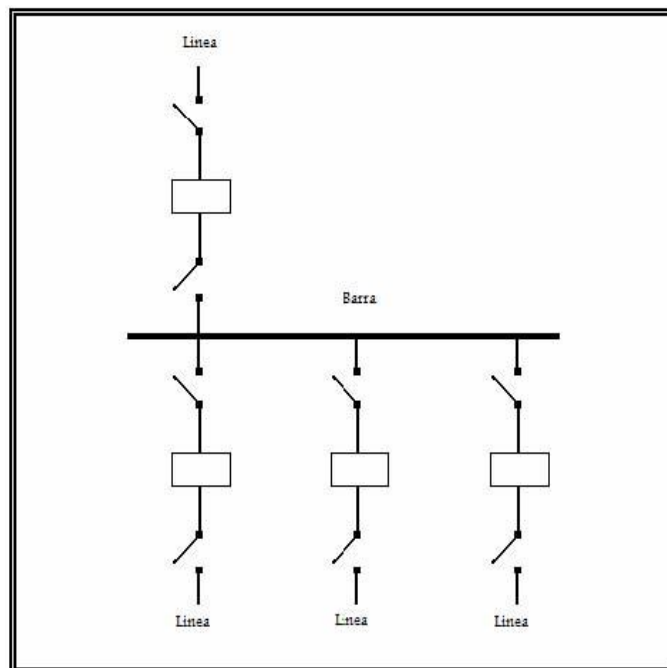
La forma como se distribuyen los elementos o equipos que conforman una subestación, así como el orden que se sigue para lograrlo, en función de de las actividades que se llevaran a cabo en la subestación, cumpliendo con las distancias establecidas y el arreglo eléctrico dado por el diagrama unifilar,

constituyen parte de de las características que rigen un esquema de barras de una subestación. El tamaño de la subestación, o el nivel de voltaje de trabajo, es otro factor que determina el grado de complejidad en el arreglo de una subestación de alto voltaje.

Existen distintos tipos de configuraciones, guiados a mejorar la flexibilidad en las operaciones de los sistemas, facilitar el mantenimiento de los elementos que lo constituyen y mejorar la seguridad, tanto de la subestación como de aquellos que en ella se desempeñan. Algunas de estas configuraciones presentan ventajas sobre otras, pero pueden incurrir en gastos mayores.

### 1.7.1. Barra simple, interruptor simple.

FIGURA N° 1.5  
BARRA SIMPLE, INTERRUPTOR SIMPLE



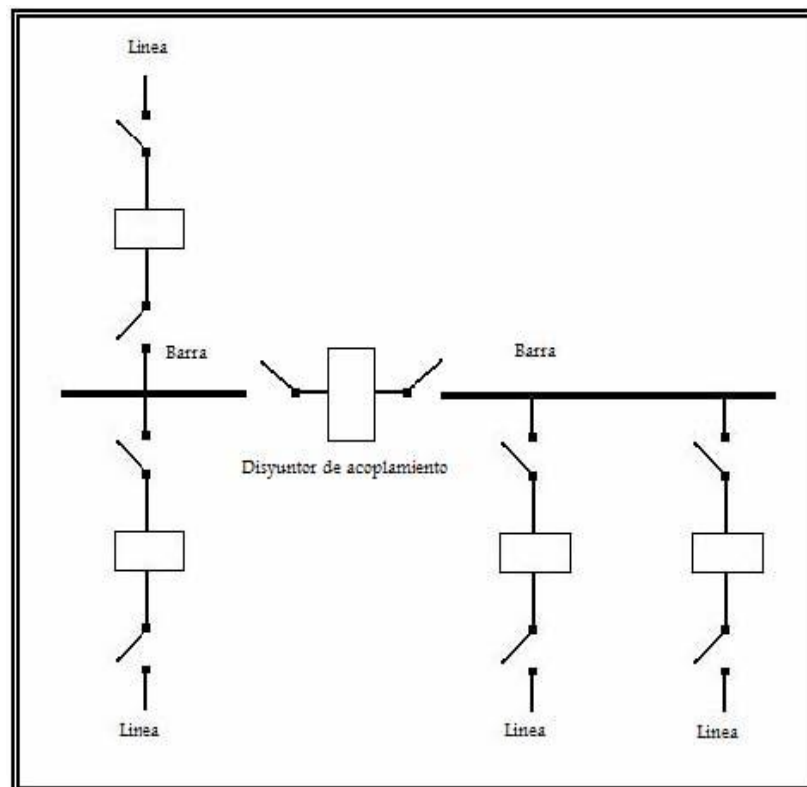
Fuente: Sistemas de distribución, Ing. M. Poveda  
Recopilado por: grupo de investigadores.

Es el esquema más simple y más económico, que se usa en pequeñas subestaciones de distribución en mediano o bajo voltaje, no suele utilizarse para

subestaciones grandes, ya que la dependencia de una sola barra en ocasiones puede producir discontinuidad en el servicio eléctrico, como en el caso de falla de la barra o de un disyuntor. Todas las llegadas o salidas se conectan vía un equipo de mando a una única barra. Es un esquema sencillo, pero muy rígido. Si es necesario hacer algún mantenimiento en las barras, se deben sacar de servicio todas las derivaciones, u operar en caliente, lo que repercute en la seguridad del personal encargado de mantenimiento. El número de circuitos que quedan fuera de servicio se puede disminuir si se divide la barra en varias secciones mediante interruptores. Es aconsejable en barras con no más de 3 derivaciones.

### 1.7.2. Barra seccionada.

FIGURA N° 1.6  
BARRA SECCIONADA



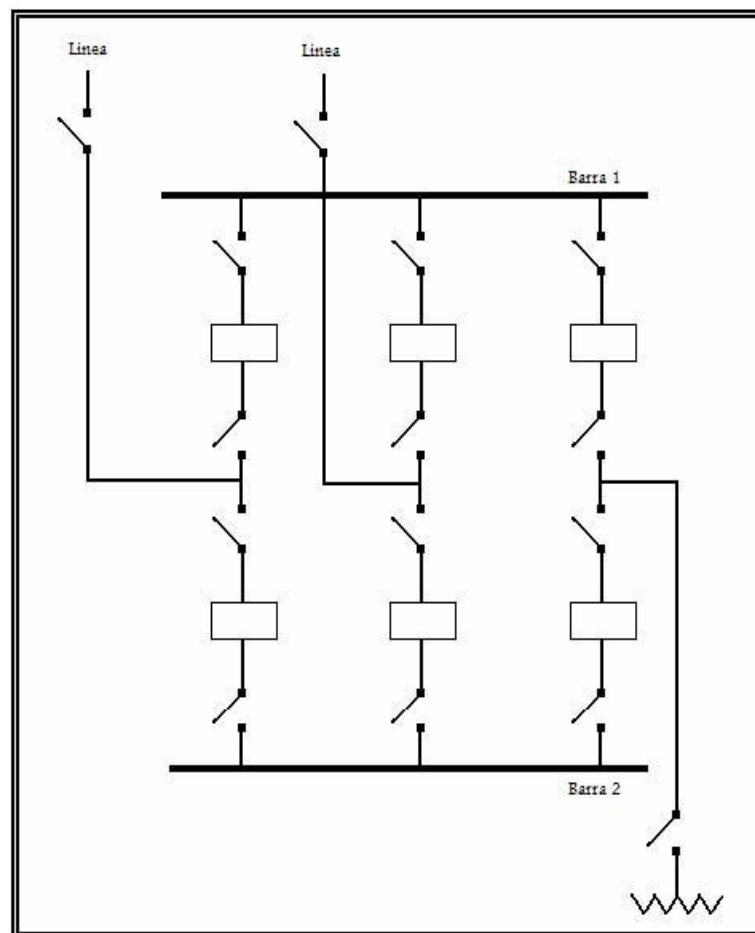
Fuente: Sistemas de distribución, Ing. M. Poveda  
Recopilado por: grupo de investigadores.

Es similar al esquema de barra simple, pero en este caso la barra principal esta

divida en 2 o 3 sectores, interconectados entre sí vía un interruptor de acople. Permite mayor flexibilización en la operación de barras, y un mejor equilibrio de cargas entre las derivaciones. Otro esquema se forma al aumentar a la barra seccionada un by pass a los equipos de corte y seccionamiento de las líneas.

### 1.7.3. Doble barra, doble disyuntor

FIGURA N° 1.7  
DOBLE BARRA, DOBLE DISYUNTOR

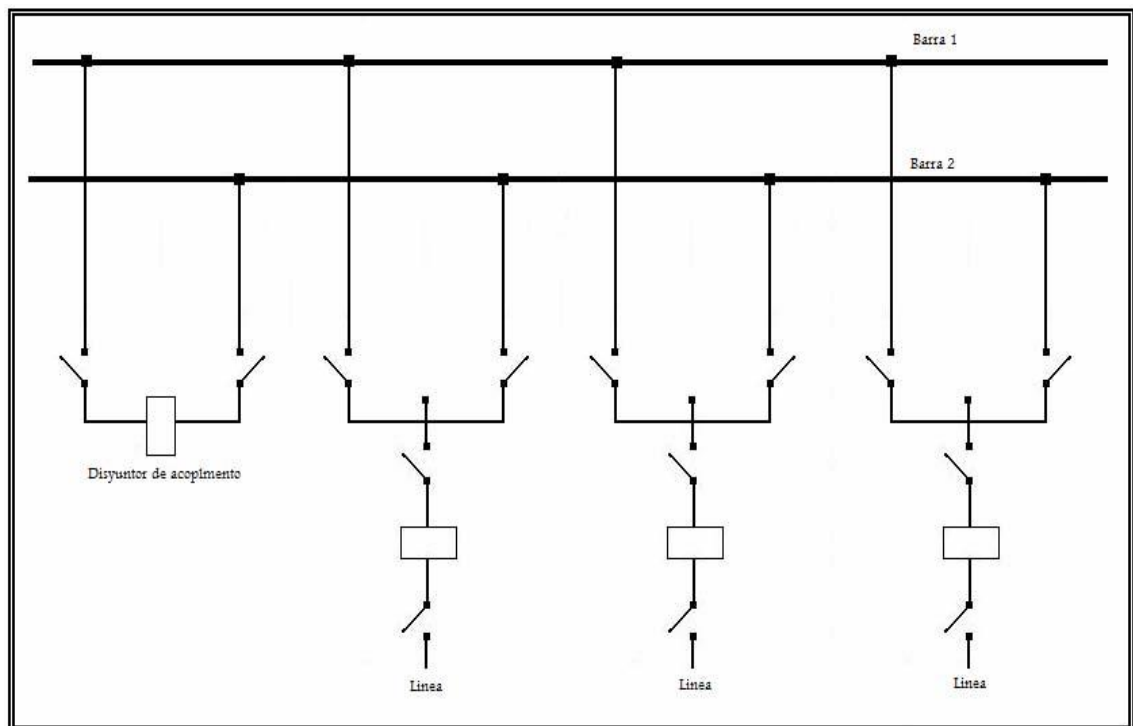


Fuente: Sistemas de Distribución, Ing. M. Poveda  
Recopilado por: Grupo de investigadores.

Este esquema hace uso de dos disyuntores por cada alimentador, que en condiciones normales se encuentran conectados a ambas barras, pero otras veces pueden dividirse en igual número de circuitos en cada barra, posibilitando que durante una falla en una de las barras o del disyuntor automático, solo la mitad de la subestación salga de servicio. Debe existir cierta coordinación en la disposición de las barras, de modo tal que durante una falla, ésta no se extienda a ambas barras. Si bien el costo de implementar este esquema es elevado por los dos disyuntores por alimentador, el nivel de confiabilidad es alto cuando ambas barras están alimentando a todos los circuitos de la subestación.

#### 1.7.4. Doble barra principal, interruptor simple.

FIGURA N° 1.8  
DOBLE BARRA PRINCIPAL, INTERRUPTOR SIMPLE



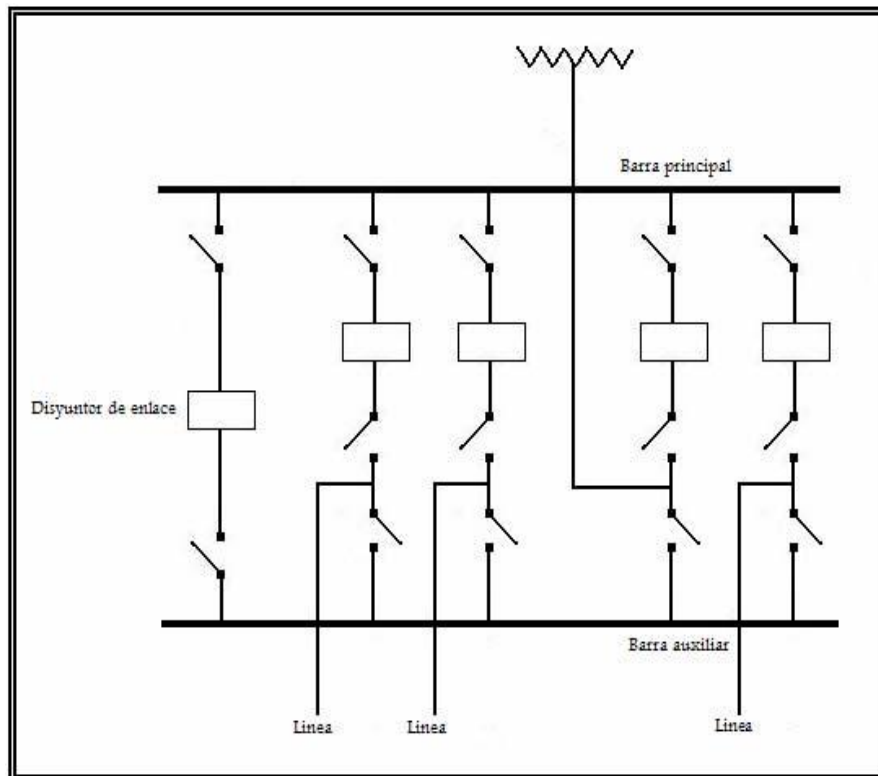
Fuente: Sistemas de Distribución, Ing. m. Poveda  
Recopilado por: Grupo de investigadores.

Como en el esquema de doble barra con dos disyuntores, este esquema utiliza dos barras principales, pero cada alimentador cuenta con un par de seccionadores para

seleccionar una u otra barra. Un disyuntor junto a un par de seccionadores asociados (acoplamiento) pueden conectar ambas barras entre sí, permitiendo la transferencia de un circuito desde una barra a otra, sin necesidad de interrumpir el servicio. Los circuitos pueden alimentarse desde una sola barra, estar divididos entre ambas barras, o estar conectados a ambas barras, con el disyuntor de acoplamiento cerrado, pero para este tipo de maniobras, se requiere que las protecciones posean una coordinación muy selectiva, para evitar que la subestación completa salga fuera de servicio ante una falla en alguna de las barras. Ante estas posibilidades, es preferible utilizar el acoplamiento sólo para reemplazar la protección de un único circuito cuando su disyuntor se encuentra fuera de servicio, en el caso de contar con un seccionador by pass en el circuito.

### 1.7.5. Barra principal y barra de transferencia.

FIGURA N° 1.9  
BARRA PRINCIPAL Y BARRA DE TRANSFERENCIA



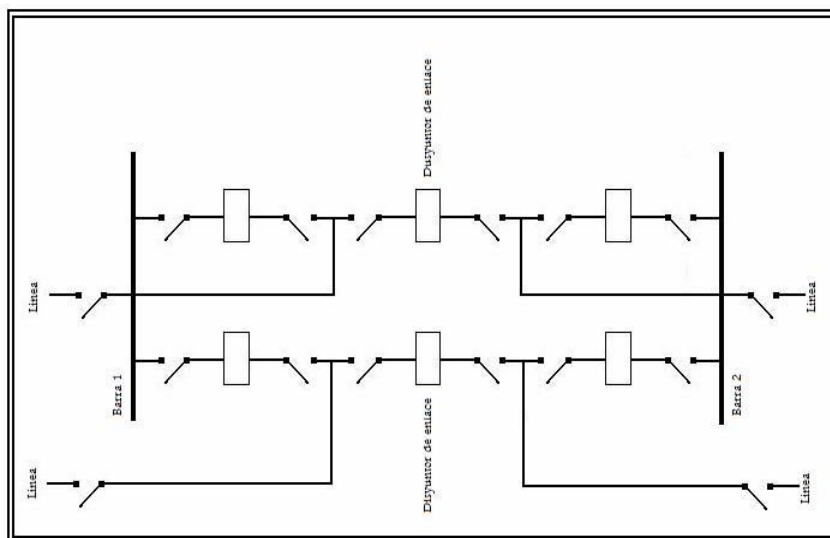
Fuente: Sistemas de distribución, Ing. M. Poveda  
Recopilado por: Grupo de investigadores.

El sistema trabaja normalmente sobre la barra principal que, en caso de fallar, deja a la subestación fuera de servicio; no existe pues seguridad en barras, como en el caso de doble barra principal; en cambio existe cierta reserva en los interruptores ya que el interruptor de acople puede sustituir a cualquiera de los otros interruptores. El esquema presenta una posición más respecto a los campos de vinculación externa: se trata de la llamada “bahía de transferencia”, que contiene un interruptor llamado “interruptor de acople”, que permite unir o separar los dos juegos de barras. Los relés de protección deberían ser transferidos, a menos que la protección para la conexión de barra sea capaz de proteger las líneas de transmisión o los transformadores, aunque éste no suele ser el caso. Alternativamente se puede conectar la protección con relés de línea y barra a los transformadores de corriente que se ubican en las líneas y no en los disyuntores automáticos. En este caso no sería necesario transferir la protección con relés de línea y barra al momento de sacar de servicio un disyuntor automático para mantenimiento, el disyuntor automático de conexión de barra mantiene al circuito energizado.

### 1.7.6. Doble barra principal, interruptor y medio.

FIGURA N° 1.10

DOBLE BARRA PRINCIPAL, INTERRUPTOR Y MEDIO



Fuente: Sistemas de distribución, Ing. M. Poveda  
 Recopilado por: Grupo de investigadores.

Esta configuración se llama también de “3 campos” porque tiene 3 campos en serie conectados a las barras principales.

Por cada 2 circuitos convergentes, hay 3 interruptores, o sea 1,5 interruptores por cada circuito: de ello proviene el nombre “interruptor y medio”.

En funcionamiento normal, todos los interruptores están cerrados, con ambas barras energizadas. Para desconectar un circuito convergente, hay que abrir los dos interruptores adyacentes.

Este sistema combina la seguridad y facilidades de puenteo de un sistema en malla con la flexibilidad de la doble barra, permitiendo obviar el uso de un disyuntor de acoplamiento entre ambas barras.

Para cubrir todas las situaciones de desconexión, los disyuntores deben ser capaces de manejar corrientes combinadas de las cargas de dos circuitos.

Si aparece un defecto, en el interruptor central, salen de servicio los dos circuitos, porque abren los interruptores de barra. Si en cambio falla un interruptor en barra, sale de servicio esa barra (abren todos los interruptores adyacentes a esa barra), pero permanecen en servicio los circuitos convergentes.

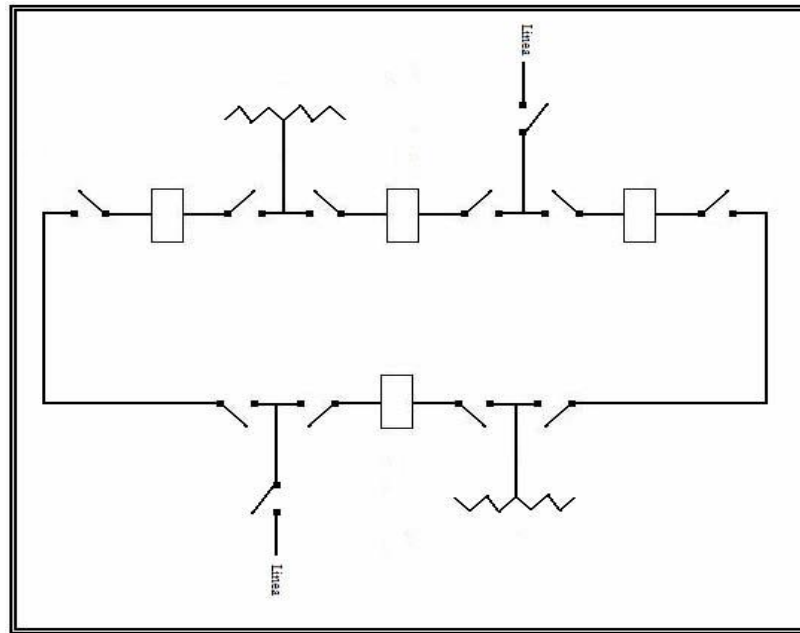
El servicio de mantenimiento sobre un interruptor cualquiera puede hacerse sin producir interrupción y sin alterar los automatismos de protección.

Por su alta seguridad, este esquema se recomienda en subestaciones elevadoras asociadas a generación. El esquema presenta una buena seguridad en barras y en interruptores.



### 1.7.7. Barra tipo anillo

FIGURA N° 1.11  
BARRA TIPO ANILLO



Fuente: Sistemas de Distribución, Ing. M. Poveda  
Recopilado por: Grupo de investigadores.

Existe una barra con varios acoples con interruptores, es una barra que se cierra sobre sí misma. Permite mucha flexibilidad de traspaso de cargas de una barra a otra, logrando equilibrios de cargas, así como respaldo ínter derivaciones. El esquema en anillo brinda una seguridad mayor que el sistema de barra simple, ya que cuenta con múltiples alternativas para guiar la electricidad alrededor del anillo, aunque el resultado de una falla en las barras es parecido al que se obtiene en el esquema de barra simple. La diferencia está en que en el esquema en anillo una falla puede ser aislada del sistema operando convenientemente la subestación, pudiendo restablecer el servicio a una gran cantidad de alimentadores. El espacio físico requerido para este esquema, es mayor que el de barra simple, razón por la que no es común en subestaciones de voltajes muy elevados. Suelen construirse subestaciones con esquemas en anillo cuando es muy probable la expansión; para

más de cinco alimentadores, generalmente este esquema se convierte en un esquema de uno y medio interruptor.

A continuación se muestra un resumen con las características principales de cada tipo de esquema de barra.

**TABLA N° 1.2**  
**RESUMEN CARACTERÍSTICAS DE LOS DIVERSOS ESQUEMAS DE**  
**BARRA**

<b>ESQUEMA DE BARRAS</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Barra simple	Económica Requiere poco espacio Maniobras sencillas	Falla en barra o disyuntor interrumpe el servicio en toda la subestación. Difícil mantenimiento. No se puede extender la barra sin desenergizar la subestación. Restringido solo a cargas susceptibles a interrupciones.
Barra simple seccionada	Se incrementa la confiabilidad en un 50%. Se incrementa la continuidad en un 50%. Puede utilizarse el seccionador de by-pass.	Características similares a la barra simple. Difícil mantenimiento.
Principal y transferencia	Bajo costo inicial y final. Posibilidad de mantenimiento a una posición manteniendo sus protecciones. Se eleva el nivel de	Necesita interruptor automático extra para acoplamiento. Difícil maniobra en mantenimiento. Una falla en barra o en un

	<p>confiabilidad.</p> <p>Aumenta la continuidad del servicio.</p> <p>Pueden utilizarse dispositivos de potencial en la barra principal para relés de protección.</p>	<p>disyuntor determina la desconexión de toda la subestación.</p>
<p>Doble barra un disyuntor</p>	<p>Permite flexibilidad.</p> <p>Cualquier barra puede ser sometida a mantenimiento.</p> <p>Un circuito puede ser fácilmente transferido de una barra a otra.</p>	<p>Necesita interruptor automático extra para acoplamiento.</p> <p>Requiere 4 seccionadores por circuito. Esquema de protección de barra puede sacar a toda la subestación al operar, si los circuitos se encuentran en esa barra. Alta exposición a fallas de barra.</p> <p>Una falla en disyuntor de línea saca todos los circuitos en esa barra.</p> <p>Falla en disyuntor de acople saca a toda la subestación de servicio.</p>
<p>Anillo</p>	<p>Bajo costo inicial y final.</p> <p>Maniobrable.</p> <p>Permite mantenimiento sin interrupción de servicio.</p> <p>Flexibilidad en mantenimiento de disyuntor.</p> <p>Continuidad en mantenimiento de disyuntor.</p> <p>Necesita un disyuntor por circuito.</p> <p>No utiliza barra principal.</p>	<p>Si existe falla durante mantenimiento de disyuntor automático, el anillo se puede separar en dos secciones.</p> <p>Complejidad en circuitería de protección y reconexión automática.</p> <p>Necesita dispositivo de potencial en cada circuito, por no estar definido punto de referencia.</p>

	<p>Se energiza por dos disyuntores a cada circuito.</p> <p>Toda la conmutación se la realiza mediante disyuntor automático.</p>	
Disyuntor y medio	<p>Flexibilidad de operación.</p> <p>Alta confiabilidad.</p> <p>Falla de disyuntor automático del lado de barra saca solo un circuito.</p> <p>Conmutación se hace solo con disyuntor automático.</p> <p>Fácil operación, no necesita seccionadores para operación normal.</p> <p>Cualquier barra puede ser sometida a mantenimiento.</p> <p>Falla en barra no saca de servicio ningún alimentador.</p>	<p>Un disyuntor y medio por circuito. Protección con relés y reconexión automática intervienen un poco. Complejo sistema de protecciones de disyuntor central, al actuar con los circuitos asociados.</p>
Doble barra doble disyuntor	<p>Cada circuito posee 2 disyuntores exclusivos.</p> <p>Facilidad en maniobras.</p> <p>Gran flexibilidad.</p> <p>Posibilidad de mantenimiento a disyuntores fácilmente.</p> <p>Alta confiabilidad.</p>	<p>Es el más costoso de todos.</p> <p>Posibilidad de interrumpir el servicio de la mitad de los alimentadores si no se conectan a ambas barras.</p>

Fuente: Personal

Realizado por: Grupo de investigadores.

## 1.8. ELEMENTOS DE UNA SUBESTACIÓN

Como elementos de una subestación se tomará en cuenta al equipo eléctrico y de telecomunicaciones, obras civiles, equipos de mantenimiento que hagan posible el buen funcionamiento de la subestación, estos elementos lo podemos clasificar en dos grupos que son:

- ✓ Activos
- ✓ Pasivos

Los elementos activos son aquellos que están asociados directamente con la potencia, corriente, voltaje, sobre voltaje, etc. de la subestación entre los que se puede citar.

- ✓ Transformadores de Potencia
- ✓ Interruptores
- ✓ Transformadores de medición y Protección
- ✓ Tableros de Control y Protección
- ✓ Seccionadores Fusibles
- ✓ Seccionadores Desconectadores y de Prueba
- ✓ Malla de Tierra
- ✓ Pararrayos
- ✓ Equipo de Comunicaciones

Los elementos pasivos serán aquellos que si bien tienen que ver con la potencia de una subestación, están en relación con el tamaño de la misma entre los principales elementos pasivos de una subestación podemos citar.

- ✓ Estructuras Soportes
- ✓ Accesorios de Cerrajería
- ✓ Equipo de Operación, Mantenimiento y Protección
- ✓ Equipo Contra Incendios

## ✓ Obras Civiles de la Subestación

A continuación se detallan los elementos principales de una subestación con sus características más importantes.

### **1.8.1. Barra**

Es el elemento desde y hacia el cual convergen todas las corrientes del sistema, distribuyéndolas a todos los conductores asociados a ella, o bajo ciertas condiciones, alimentando a los equipos de transformación, con energía proveniente de otra subestación.

### **1.8.2. Transformador**

Es el elemento más importante y costoso de una subestación transformadora, y es el encargado de convertir los niveles de voltaje entrantes en otros diferentes, ya sea elevándolos o disminuyéndolos. Un transformador de potencia de una subestación de alto voltaje, puede ser un único transformador trifásico, o tratarse de un banco de tres transformadores monofásicos, facilitando esto último su transporte y fiabilidad. Por su parte, los autotransformadores suelen utilizarse para conectar dos sistemas de transmisión con niveles de voltaje distintos.

### **1.8.3. Transformador de corriente**

Utilizados para tomar datos de intensidad de corriente en la subestación, los transformadores de corriente reducen los valores reales de corriente de la línea a niveles seguros y adecuados a los equipos de medida.

Es de suma importancia que el secundario del transformador de corriente se encuentre siempre conectado a un equipo de medida que actúe como carga, o en su defecto, cortocircuitar sus extremos, para evitar la generación de altos voltajes en el secundario del transformador. Los valores de corriente de estos equipos

suelen ser de 1 A o 5 A en su lado secundario, que son justamente los niveles con los cuales actúan los equipos de medida.

#### **1.8.4. Transformador de potencial**

Los transformadores de potencial están compuestos por un lado primario que se conecta al alto voltaje, y un secundario de bajo voltaje, a través del cual se reflejan las condiciones de voltaje de la línea. La carga que representan estos transformadores es muy baja, motivo por el cual presentan una caída de voltaje de bajo valor.

#### **1.8.5. Pararrayos**

Este elemento se encarga de descargar a tierra un sobrevoltaje o la corriente de impulso que puede aparecer en la línea cuando ocurren descargas atmosféricas que afectan al sistema, por la acción de maniobras en los diferentes equipos de un sistema eléctrico de potencia o por fallas a tierra. Estos equipos evitan que el aislamiento del sistema sea dañado por sobrevoltajes transitorios, actuando como limitadores de voltaje y protegiendo de esta manera a los equipos de la subestación.

Los pararrayos pueden ser de tipo válvula y de tipo expulsión.

#### **1.8.6. Relés de protección.**

Los relés electromecánicos están formados por bobinas y trabajan en conjunto con transformadores de potencial y/o de corriente, dependiendo de la función específica del relé de protección, que puede ser protección de generador, relé de distancia, protección diferencial, protección de barras, etc.

Estos equipos no actúan directamente sobre el conductor al cual protegen, sino más bien sobre un disyuntor automático que es el elemento que puede interrumpir

un circuito energizado y con carga, incluso durante una falla del sistema eléctrico de potencia.

### **1.8.7. Equipos de medición**

La medición de la subestación está compuesta por un conjunto de diferentes instrumentos conectados a los secundarios de los transformadores para instrumento cuya función es medir las magnitudes de los diferentes parámetros eléctricos de la instalación del lado de alto voltaje, así como del lado de bajo voltaje.

Los instrumentos de medición se colocan sobre tableros ya sea en forma sobre puesta o embutidos. En las subestaciones es importante conocer la corriente, el voltaje, frecuencia, el factor de potencia, potencia activa y reactiva, energía, temperatura, etc.

Los sistemas de medición de una subestación pueden ser: Local – remoto o tele medición, y mixto.

### **1.8.8. Seccionador**

Este equipo permite separar físicamente un circuito, o aislar los equipos a los cuales se encuentra asociado, posibilitando una verificación visual de esto, lo que facilita la supervisión e incrementa la seguridad en los trabajos de mantenimiento y reparación. Este equipo no puede ser operado bajo carga, ni abrir corrientes de cortocircuito. Sin embargo debe poder interrumpir corrientes inductivas, como aquellas que se generan en una línea, en bancos de reactores o transformadores, así como corrientes capacitivas, tales como líneas en vacío energizadas, o las generadas en bancos de capacitores.

En las subestaciones se encuentran en los acoplamientos de tierra o aislando otros equipos como disyuntores.



### **1.8.9. Disyuntor Automático**

Este equipo permite la apertura y reconexión de circuitos bajo carga, en condiciones normales o de corto circuito.

Un disyuntor debe ser capaz de trabajar bajo las siguientes condiciones:

- ✓ Desconexión normal
- ✓ Interrupción de corriente de falla
- ✓ Cierre con corrientes de falla
- ✓ Interrupción de corrientes capacitivas
- ✓ Interrupción de corrientes inductivas de baja magnitud
- ✓ Fallas de línea corta
- ✓ Oposición de fase durante las salidas del sistema
- ✓ Recierres automáticos rápidos
- ✓ Cambios repentinos de corriente durante las operaciones de maniobra

Este elemento debe contar con mecanismos de extinción de arco, que se genera durante el cierre y apertura de sus contactos cuando trabaja con carga o en corto circuito, y éstos pueden ser aire comprimido, SF<sub>6</sub>, vacío entre otros.

### **1.8.10. Estructuras de apoyo**

Para soportar, montar e instalar adecuadamente el equipo eléctrico son necesarias estructuras de acero, aluminio o madera, así como fundaciones de hormigón. La subestación típica de intemperie requiere estructuras resistentes para soportar los conductores de las líneas de transporte; estructuras de apoyo para los seccionadores, transformadores de corriente y de intensidad, pararrayos, selectores de línea, transformadores tensión-capacidad y estructuras y soportes para las barras volantes y rígidas de la subestación.<sup>9</sup>

Cuando las estructuras son de acero o aluminio, requieren fundaciones de hormigón; pero estas no son necesarias si las estructuras son de madera. También

---

<sup>9</sup> Donald G. Fink, “Manual práctico de electricidad para ingenieros”, 1981.

es necesario proyectar fundaciones de hormigón para el apoyo de disyuntores, reactores, transformadores, condensadores y otros equipos eléctricos pesados.

Otros trabajos estructurales y de hormigón necesarios en la subestación se refieren a la elección y preparación del emplazamiento, caminos, casetas de control, conducciones, conductos, dispositivos de drenaje, sumideros y vallas.

## **1.9. PUESTA A TIERRA EN SUBESTACIONES**

En el diseño de una subestación eléctrica, es necesario definir diversas conexiones a tierra para conectar a la propia red de tierra los neutros, tanques y carcasas de los equipos, los cables de guarda, las estructuras metálicas y todas aquellas partes metálicas que deben estar a potencial de tierra, logrando las siguientes funciones principales:

- ✓ Proveer un medio de muy baja impedancia que permita disipar las corrientes eléctricas a tierra, evitando exceder los límites de diseño de los equipos.
- ✓ Proporcionar una trayectoria a tierra para el neutro de los sistemas o equipos eléctricos que así lo requieran, limitando la aparición de potencial en el neutro de un sistema en estrella aterrizado.
- ✓ Contar con un medio seguro que aterrice los equipos eléctricos cuando estén en mantenimiento.
- ✓ Facilitar la operación de los relevadores que eliminan las fallas a tierra del sistema.
- ✓ Disipar la corriente asociada a las descargas atmosféricas, limitando los sobrevoltajes generados.
- ✓ Limitar la elevación de potencial de la red a valores aceptables, cuando ocurre una falla a tierra.
- ✓ Evitar que durante la circulación de estas corrientes de tierra, puedan producirse diferencias de potencial entre distintos puntos de la subestación, que puedan ser peligrosas para el personal.

- ✓ Proporcionar mayor confiabilidad, continuidad y seguridad al sistema eléctrico.

Adicionalmente a las funciones descritas, una buena conexión a tierra, abate el costo del equipo utilizado, minimiza la radio interferencia y se reducen los niveles de aislamiento de los equipos y la magnitud de la estabilidad transitoria. La oposición que se presenta a la circulación de la corriente de falla a tierra se llama resistencia de tierra, por lo tanto, el objetivo de una conexión a tierra es facilitar la disipación de la corriente de falla.

### **1.9.1. Requisitos de una malla a tierra**

Los requisitos que debe cumplir una malla de puesta a tierra son los siguientes:

- ✓ Debe tener una resistencia tal, que el sistema se considere sólidamente puesto a tierra.
- ✓ La variación de la resistencia, debido a cambios ambientales, debe ser despreciable de manera que la corriente de falla a tierra, en cualquier momento, sea capaz de producir el disparo de las protecciones.
- ✓ Impedancia de bajo valor para el fácil paso de las descargas atmosféricas.
- ✓ Debe conducir las corrientes de falla sin provocar diferencias de potencial peligrosos entre sus puntos vecinos.
- ✓ Al pasar la corriente de falla durante el tiempo máximo establecido de falla, no debe haber calentamientos excesivos.
- ✓ Debe ser resistente a la corrosión.

El primer paso en el planteamiento práctico de una red de tierra consiste en inspeccionar la disposición del equipo y de las estructuras. Un cable continuo debe rodear el perímetro de la red encerrando el máximo de terreno que sea posible para evitar concentraciones de corriente. Dentro de la red, los cables deben disponerse en líneas paralelas espaciadas de manera uniforme y adecuada.

Deben situarse cuando sea posible, a lo largo de las filas de estructuras o de equipos para facilitar la instalación de las tomas de tierra.

Un sistema de red típico para una subestación puede constar de cable de cobre desnudo 4/0 enterrado a una profundidad de 30 a 45 cm y espaciado en forma de red de 3 x 6 m. (Con frecuencia no obstante, se emplean otros tamaños de conductores, otras profundidades y otros espaciados de red) En cada unión del cable 4/0 los cables deben estar unidos de manera segura y también pueden conectarse a una varilla clavada de acero revestido con cobre, de aproximadamente 16 mm de diámetro y 2,5 m de largo.

En suelos muy resistentes puede ser conveniente que las varillas penetren más en el suelo.

## **1.9.2. Tensiones de paso y de contacto permisibles**

### **1.9.2.1. Tensión de paso**

Es la diferencia de potencial entre dos puntos de un terreno que pueden ser tocados simultáneamente por una persona; su valor permisible esta dado por:

$$E_p = \frac{165 + \rho_s}{\sqrt{t}}$$

Donde:

$E_p$  = Tensión de Paso Permisible en voltios

$\rho_s$  = Resistividad de la superficie del terreno en ( $\Omega$ -m)

$t$  = Duración máxima de falla en segundos

### **1.9.2.2. Tensión de contacto**

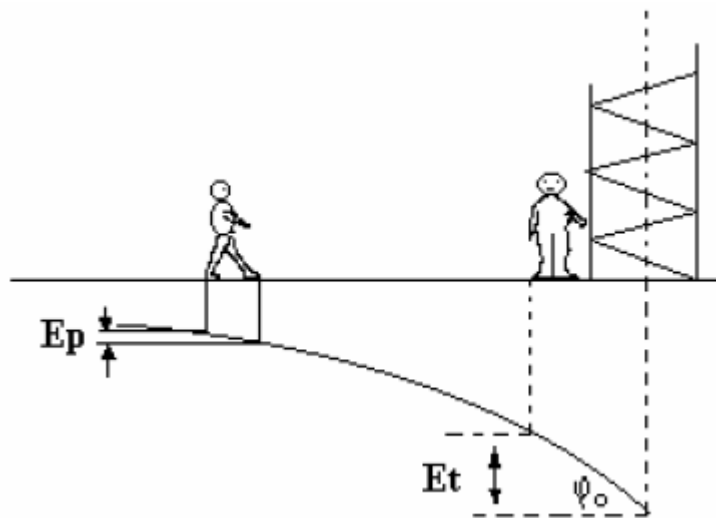
Es la diferencia de potencial entre un punto en la superficie del terreno y cualquier otro punto que se pueda ser tocado simultáneamente por una persona; su valor permisible está dado por:

$$Et = \frac{165 + 0.25 \rho_s}{\sqrt{t}}$$

En donde:

Et = Tensión de contacto permisible en voltios

FIGURA N° 1.12  
TENSIÓN DE PASO EP Y DE CONTACTO ET



Fuente: Diseño de tierra para subestaciones, J. Orozco  
Recopilado por: Grupo de investigadores.

### 1.9.3. Diseño de una malla a tierra

El diseño de una malla a tierra está afectado por las siguientes variables:

- ✓ Tensión Permisible de Paso.
- ✓ Tensión Permisible de contacto.
- ✓ Configuración de la malla.
- ✓ Resistividad del terreno
- ✓ Tiempo máximo de despeje de la falla.

- ✓ Conductor de la malla.
- ✓ Profundidad de instalación de la malla.

### 1.9.3.1. Selección del conductor de la Malla

Para calcular la sección del conductor se aplica la siguiente ecuación:

$$Ac = I \left[ \frac{33t}{\log \left( \frac{Tm - Ta}{234 + Ta} \right) + 1} \right]^{1/2}$$

En donde:

Ac = Sección del conductor (cm).

I = Corriente máxima de falla (Amp.)

Tm = Temperatura máxima en los nodos de la malla (450°C con soldadura y 250°C con amarre pernado.)

Ta = Temperatura ambiente (°C).

t = Tiempo máximo de despeje de la falla (seg).

La sección mínima recomendable es 2/0 AWG para la malla y 5/8" para las varillas, estos valores mínimos están de acuerdo con prácticas internacionales.

### 1.9.3.2. Tensiones reales de paso y contacto

La tensión de paso real en una subestación está dada por:

$$Ep = KsKi \frac{\rho I}{L}$$

En donde:

Ep = Tensión de paso real en voltios.

Ks = Coeficiente que tiene en cuenta, la influencia combinada de la profundidad y del espaciamiento de la malla.

Ki = Coeficiente de irregularidad del terreno.

$\rho$  = Resistividad del suelo ( $\Omega$ -m)

I = Corriente máxima de falla (Amp.)

L = Longitud total del conductor (m)

La tensión de contacto real está dado por:

$$Et = KmKi \frac{\rho I}{L}$$

Donde:

Et = Tensión de contacto en voltios.

Km = Coeficiente que tiene en cuenta las características geométricas de la malla.

### 1.9.3.3. Determinación de los coeficientes km, ki , ks

Para la determinación de los coeficientes es necesario tener en cuenta las siguientes definiciones:

A= Longitud de la malla (m).

B= Ancho de la malla (m).

L= Longitud total del conductor (m).

n= Número de conductores en paralelo de longitud A

m= Número de conductores en paralelo de longitud B.

D= Espaciamiento entre conductores (m).

h= Profundidad de enterramiento (m).

d= Diámetro del conductor (m)

La longitud total del conductor está dada por

$$L = n \cdot A + m \cdot B$$

$$Km = \frac{1}{2\pi} \ln \left( \frac{D^2}{16hd} \right) + \frac{1}{\pi} \ln \left( \frac{3}{4} * \frac{5}{6} * \frac{7}{8} \dots \dots \right)$$

n-2 términos

Ki es:

$$Ki = 0,65 + 0,172n \quad n \leq 7$$

Ki = 2,0

n>7

Ks es:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \dots + \frac{1}{(n-1)D} \right)$$

#### 1.9.4. Valor de la resistencia de puestas a tierra

El cálculo de la resistencia de puesta a tierra se lo puede realizar de una forma bastante aproximada mediante el método de Laurent y Niemann y se lo realiza utilizando la siguiente expresión:

$$R = 0.443\rho \left( \frac{1}{\sqrt{A\gamma}} + \frac{1}{L} \right)$$

Donde:

R = Resistencia en ohmios

A $\gamma$  = Área de la malla de puesta a tierra en m<sup>2</sup>

$\rho$  = Resistividad del suelo ( $\Omega$ -m)

L = Longitud total del conductor (m)

##### 1.9.4.1. Condiciones para disponer de una malla segura

E malla < E contacto/tierra

L seguridad < L malla

E paso < E paso/tierra



## **1.10. DESCRIPCIÓN Y TOPOLOGÍA ACTUAL EN MEDIA TENSIÓN DE LOS ALIMENTADORES QUERO - CEVALLOS, PELILEO Y TISALEO**

Un sistema eléctrico de distribución está constituido normalmente de un número de subestaciones, cada una de las cuales tiene cierta cantidad de alimentadores que distribuyen la energía a los consumidores. La zona servida por la totalidad de los alimentadores de una subestación conforma el área de servicio de la subestación. Debido al cambio y normal crecimiento del consumo energético, la carga total en un área puede llegar a exceder la capacidad de la subestación, por lo tanto esta podría llegar a expandirse, el exceso de carga puede ser transferido a una subestación cercana y en el último de los casos, es necesario definir la ubicación de una nueva subestación.

Por este motivo es necesario analizar la situación actual del sistema, con el fin de conocer los principales problemas y dar las mejores soluciones técnicas y económicas

### **1.10.1. Subestación Montalvo**

La Subestación Montalvo se encuentra ubicada en la Parroquia Montalvo, al norte del Cantón Cevallos de la Provincia de Tungurahua.

En este lugar se encuentra instalado un transformador de marca WEG de tres devanados, con una potencia instalada de 10/12,5 MVA; la conexión de este transformador es Delta – Y. Su voltaje de operación es de 69 – 13,8 KV e inició su funcionamiento desde el primero de diciembre del año 2006.

Los alimentadores que se desprenden de esta subestación son:

- ✓ Alimentador Quero – Cevallos;
- ✓ Alimentador Sur; y

✓ Alimentador Tisaleo

#### **1.10.1.1. Alimentador Quero - Cevallos**

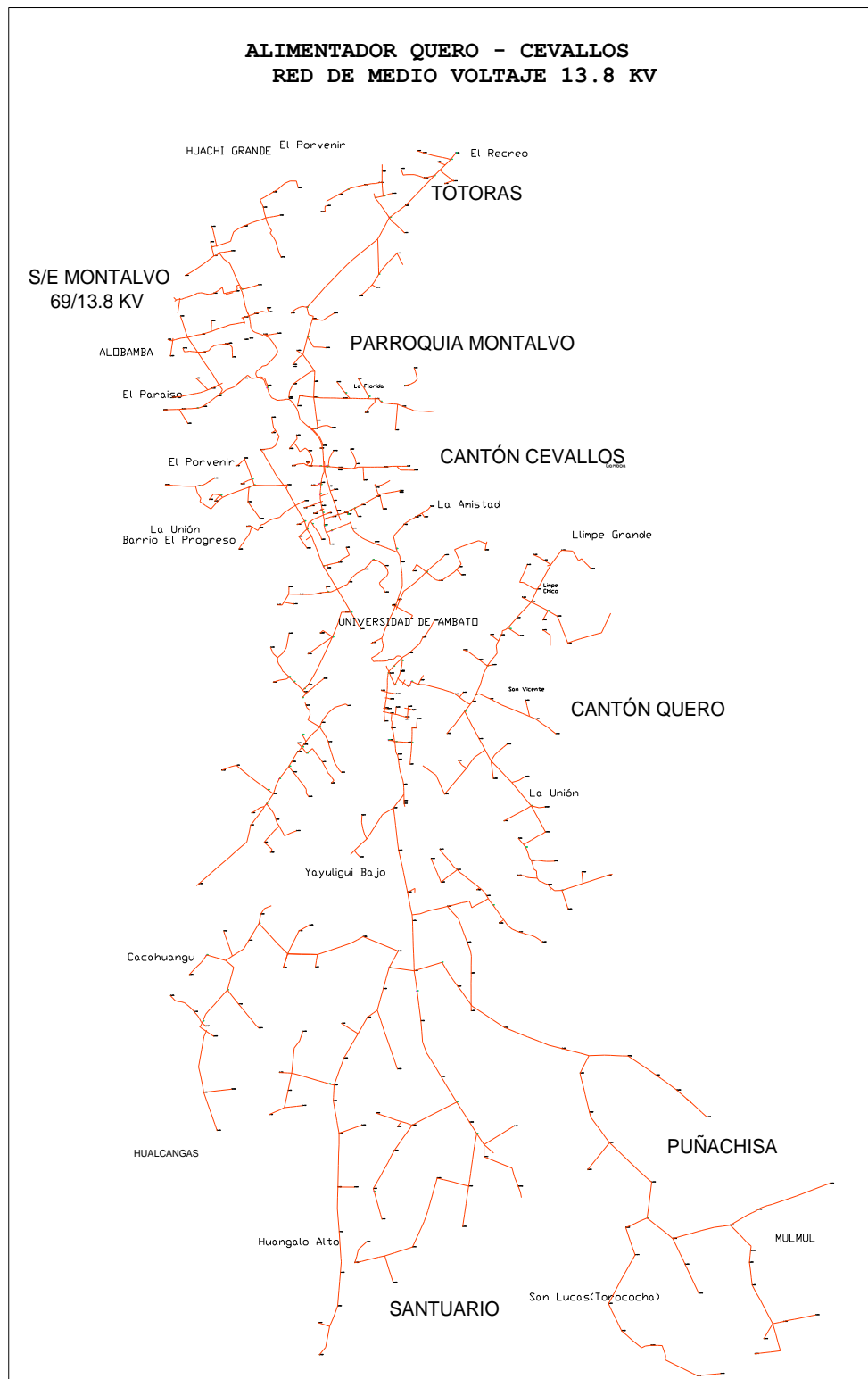
El alimentador Quero - Cevallos tiene un nivel de voltaje de 69/13,8 KV, su longitud en media tensión es de 208,33 km, mientras que en baja tensión es de 414,74 Km; En este alimentador se encuentran instalados 474 transformadores monofásicos y 27 transformadores trifásicos de distribución , dando así un total de 501 transformadores instalados. La potencia instalada en este alimentador es de 7,1975 MVA.

El calibre de conductor es de 4/0 AWG para las troncales principales y de 1/0 AWG para los ramales trifásicos, en cambio para los ramales monofásicos se disminuye el calibre del conductor a 2 y 4 AWG.

Su recorrido lo realiza principalmente por el sector rural, esto significa tener carga más dispersa y por lo tanto se requiere recorrer distancias más grandes para servir a los usuarios, en este caso el factor limitante es la caída de voltaje.

En la figura 1.13 se muestra la topología actual del alimentador Quero – Cevallos, además los sitios por donde este se distribuye.

FIGURA N° 1.13  
 TOPOLOGÍA DEL ALIMENTADOR QUERO - CEVALLOS



Fuente: Base de datos EEASA  
 Recopilado por: Grupo de investigadores.

### **1.10.1.2. Alimentador Tisaleo**

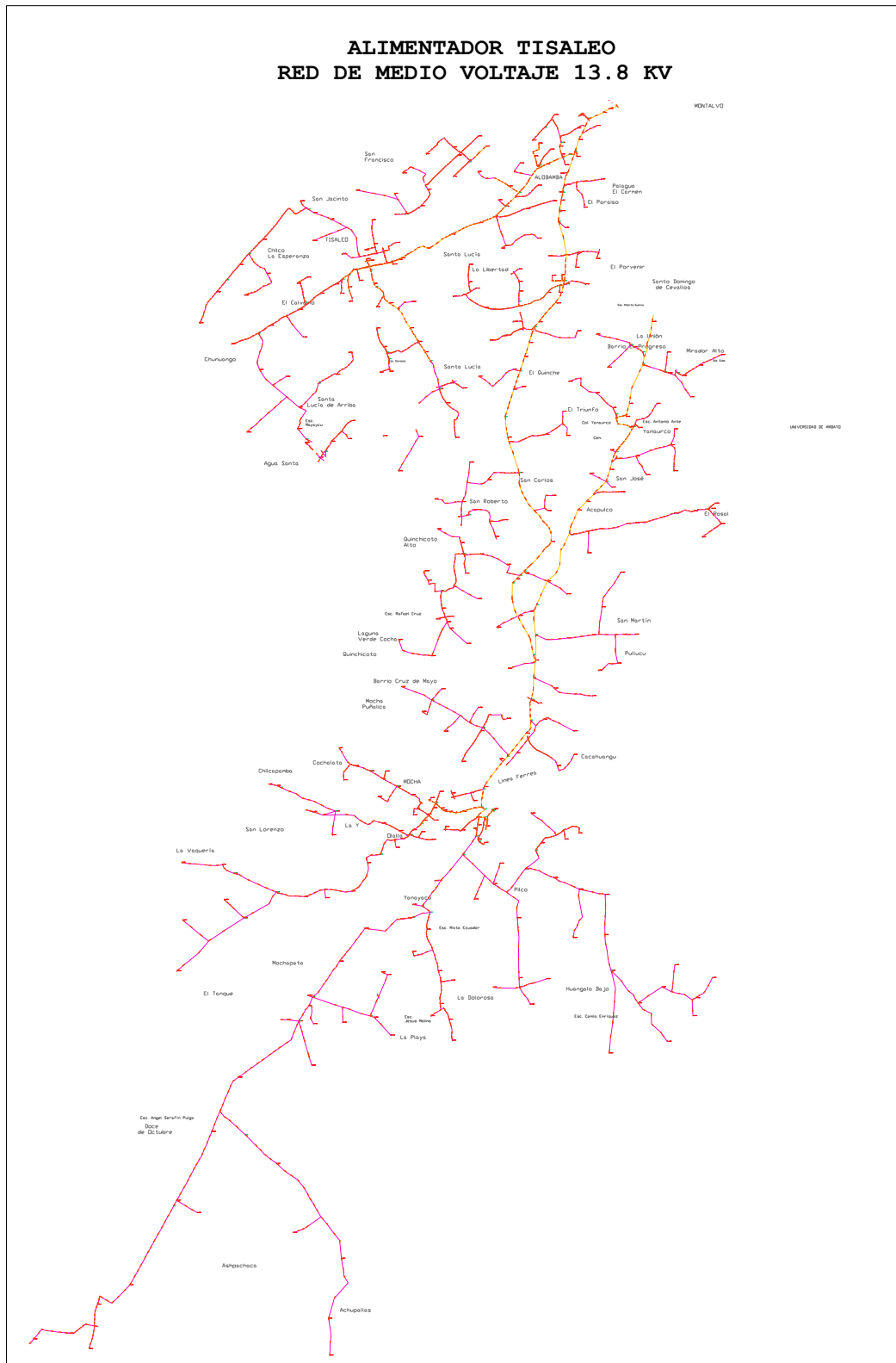
El alimentador Tisaleo tiene un nivel de voltaje de 69/13,8 KV, su longitud en media tensión es de 153,63 km, mientras que en baja tensión es de 285,42 Km; se encuentran instalados 358 transformadores monofásicos y 17 transformadores trifásicos de distribución , dando así un total de 375 transformadores instalados. La potencia instalada en este alimentador es de 5,143 MVA.

El calibre de conductor es de 2/0 AWG para las troncales principales y de 1/0 AWG para los ramales trifásicos, en cambio para los ramales monofásicos se disminuye el calibre del conductor a 2 y 4 AWG.

Su recorrido lo realiza principalmente por el sector rural, la carga de este alimentador es en su mayoría residencial, esto se evidencia en la cantidad de transformadores monofásicos y trifásicos existentes.

En la figura 1.14 se muestra la topología actual del alimentador Tisaleo, además los sitios por donde este se distribuye.

FIGURA N° 1.14  
 TOPOLOGÍA DEL ALIMENTADOR TISALEO



Fuente: Base de datos EEASA.  
 Recopilado por: Grupo de investigadores.

### **1.10.2. Subestación Pelileo**

La Subestación Pelileo se encuentra ubicada al sur de la ciudad de Ambato, en el Cantón Pelileo, Parroquia San Pedro, de la Provincia de Tungurahua.

En este lugar se encuentra instalado un transformador de marca OSAKA de tres devanados, con una potencia instalada de 10/12,5 MVA; la conexión de este transformador es Delta – Y. Su voltaje de operación es de 69 – 13,8 KV e inició su funcionamiento desde el primero de junio del año 1984.

Los alimentadores que se desprenden de esta subestación son:

- ✓ Alimentador Pelileo;
- ✓ Alimentador Huambaló; y
- ✓ Alimentador Patate

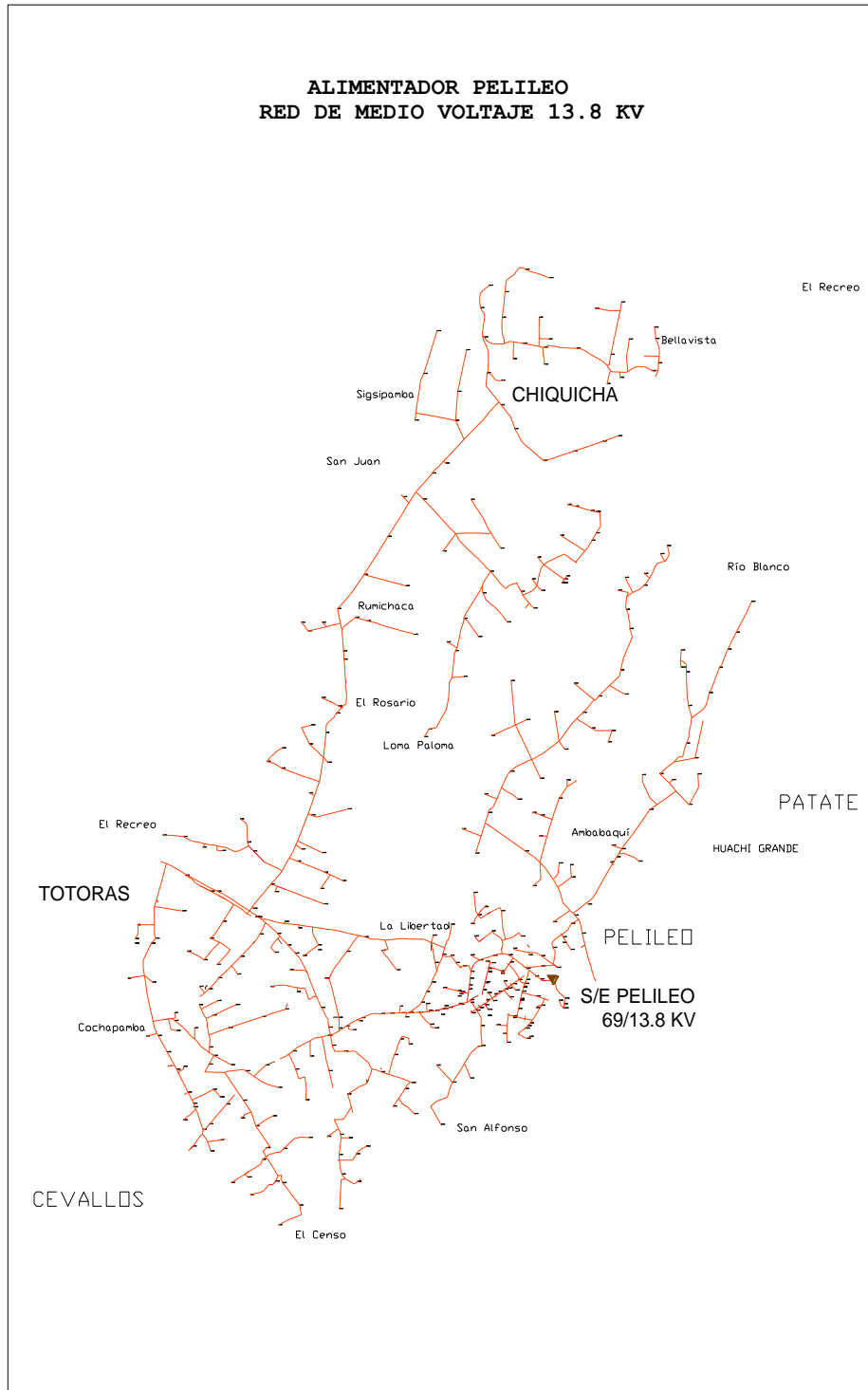
#### **1.10.2.1. Alimentador Pelileo**

El alimentador Pelileo tiene un nivel de voltaje de 69/13,8 KV, su longitud en media tensión es de 150,48 km, mientras que en baja tensión es de 323,05 Km; se encuentran instalados 400 transformadores monofásicos y 61 transformadores trifásicos de distribución, dando así un total de 461 transformadores. La potencia instalada en este alimentador es de 8,9625 MVA.

El calibre de conductor es de 2/0 AWG para las troncales principales y de 1/0 AWG para los ramales trifásicos, en cambio para los ramales monofásicos se disminuye el calibre del conductor a 2 y 4 AWG.

En la figura 1.15 se muestra la topología actual del alimentador Pelileo, además de los sitios por donde este se distribuye.

FIGURA N° 1.15  
TOPOLOGÍA DEL ALIMENTADOR PELILEO



Fuente: Base de datos EEASA  
Recopilado por: Grupo de investigadores

## **1.11. MODELACIÓN DE LA RED DE MEDIO VOLTAJE DE LOS ALIMENTADORES QUERO - CEVALLOS, PELILEO Y TISALEO**

### **1.11.1. Programa de Simulación**

Para la modelación de los alimentadores primarios “Quero – Cevallos”, “Pelileo” y Tisaleo, se utilizó un software que permite la simulación de redes de distribución eléctrica, llamado “CYMDIST.

El programa CYMDIST permite estudiar y simular el comportamiento de las redes de distribución de energía eléctrica bajo distintas condiciones y escenarios.

Este programa ejecuta varias funciones necesarias para el planeamiento y análisis de las redes de distribución. Las funciones de análisis de flujo de carga, cortocircuito, optimización de la configuración eléctrica, etc. pueden aplicarse a sistemas radiales de distribución balanceados y desbalanceados, construidos con cualquier combinación de fases y configuraciones.<sup>10</sup>

Otras de sus funciones son la ubicación óptima de condensadores, el balance de carga y la optimización de la configuración del sistema eléctrico, esto puede ser de gran utilidad cuando se pretende minimizar las pérdidas.

La interfaz grafica CYMView permite importar y exportar información geográfica en formato DXF de Autocad, que facilita el ingreso del diagrama unifilar de la red y definir los parámetros de sus componentes.

Toda la información empleada por este programa, así como sus resultados se guardan en bases de datos, lo cual permite su procesamiento posterior. También

---

<sup>10</sup> CYME INTERNATIONAL INC, “Guía del Usuario y Manual de Referencia CYMDIST, 2006



importa / exporta información de redes en formato ACCESS u otro administrador de base de datos, como ORACLE, SQL-SERVER, etc.

La modelación consiste en ingresar el alimentador en forma de tramos, donde se puede agregar o quitar las cargas y equipos a los que conectan en extremo de fuente o en el extremo de carga.

### 1.11.2. Modelación de los circuitos primarios

Para distribuir la carga en la modelación, se consideran los valores de los consumos de energía anual asociado a cada uno de los transformadores existentes en los alimentadores primarios, cada uno de estos valores es ingresado como carga concentrada. A estas cargas se asigna un valor de demanda para la modelación, basada en la demanda registrada en el alimentador.

Para la distribución de la demanda se considera el valor máximo de demanda medida al inicio del alimentador. En la siguiente tabla se indican los valores de demanda y carga utilizados para la modelación.

TABLA N° 1.3  
VALORES INGRESADOS EN LA MODELACIÓN

Alimentador	Demanda Máxima		Carga Conectada
	KW	Fp	KVA
Quero – Cevallos	2404,37	0,96	7197,5
Pelileo	3926	0,97	8962,5
Tisaleo	1692,53	0,97	5143

Fuente: Base de datos EEASA

Realizado por: Grupo de investigadores.

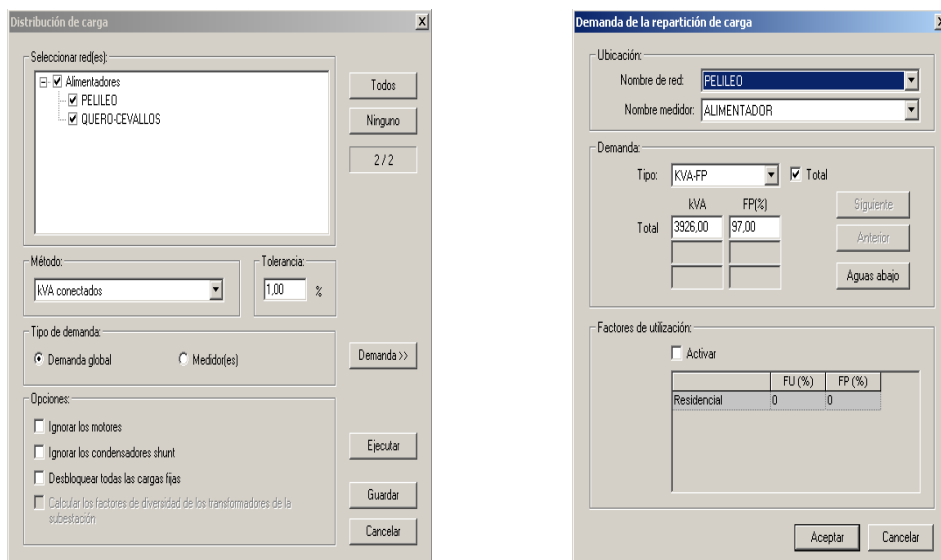
Los datos necesarios para la simulación de los alimentadores, tales como topología de la red, calibre de los conductores, capacidad de transformadores, distancias y lecturas de los medidores de las subestaciones, fueron obtenidos de la base de datos del Sistema de Información de Distribución (SID), perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato.

### 1.11.2.1 Distribución de carga

El programa CYMDIST permite realizar la distribución de carga, considerando la demanda máxima medida, además asigna una porción de la demanda medida a cada fase de cada tramo según los KVA conectados, los KVA consumidos o el número de abonados, toma en cuenta los motores, generadores, susceptancias de línea y pérdidas al realizar el cálculo.

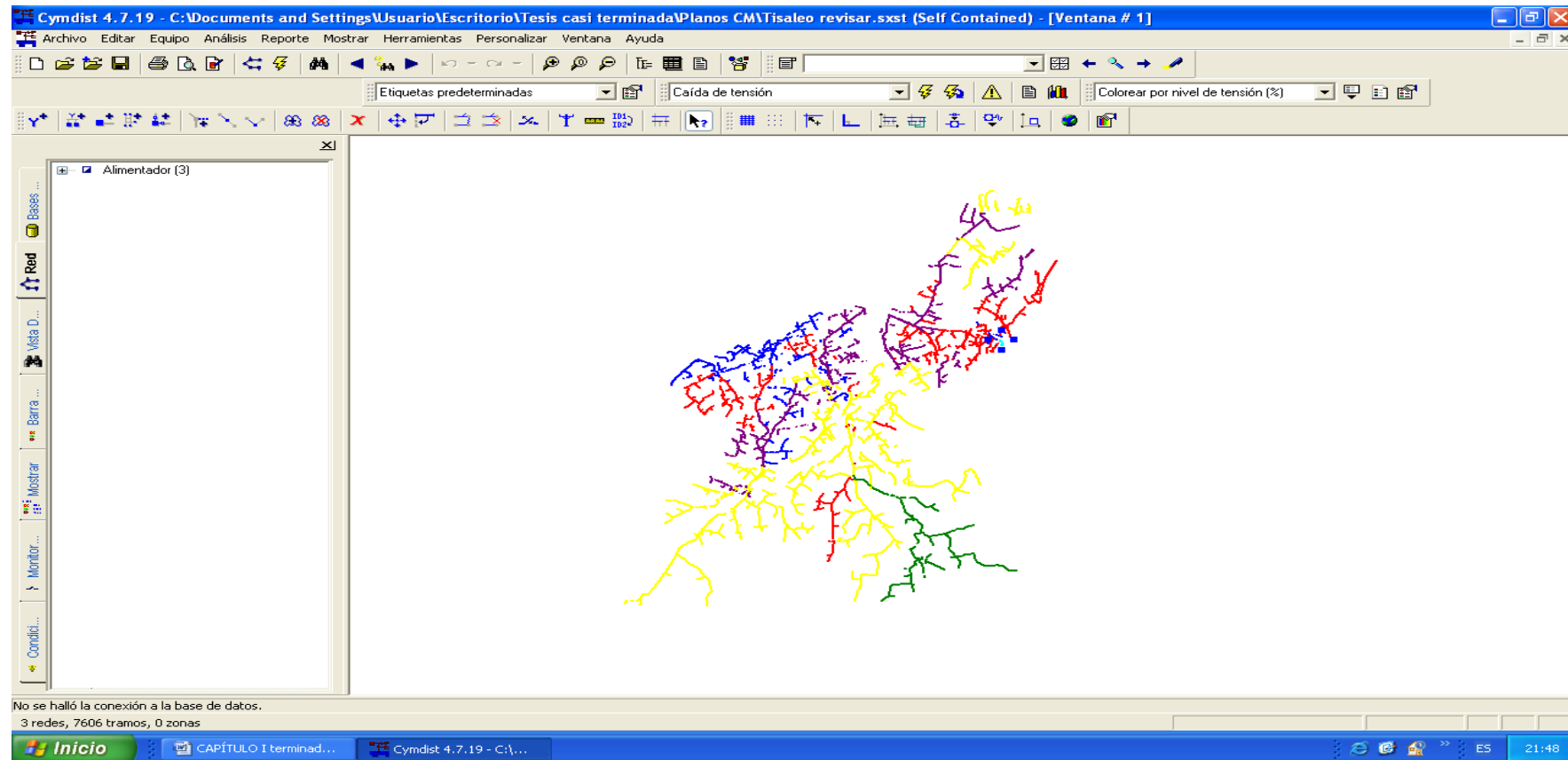
En las figuras 1.16 y 1.17 se muestran los parámetros ingresados para la distribución de carga, además de la pantalla principal con los alimentadores.

FIGURA N° 1.16  
DISTRIBUCIÓN DE CARGA



Fuente: Parámetros Cymdist  
Realizado por: Grupo de investigadores

FIGURA N° 1.17  
PANTALLA PRINCIPAL DE CYMDIST



Fuente: Parámetros Cymdist  
Realizado por: Grupo de investigadores

## **1.12. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

Una vez ingresados los valores y características de cada tramo de los alimentadores se pueden realizar diferentes tipos de análisis tales como: caída de voltaje, crecimiento y distribución de carga, balance de carga, etc.

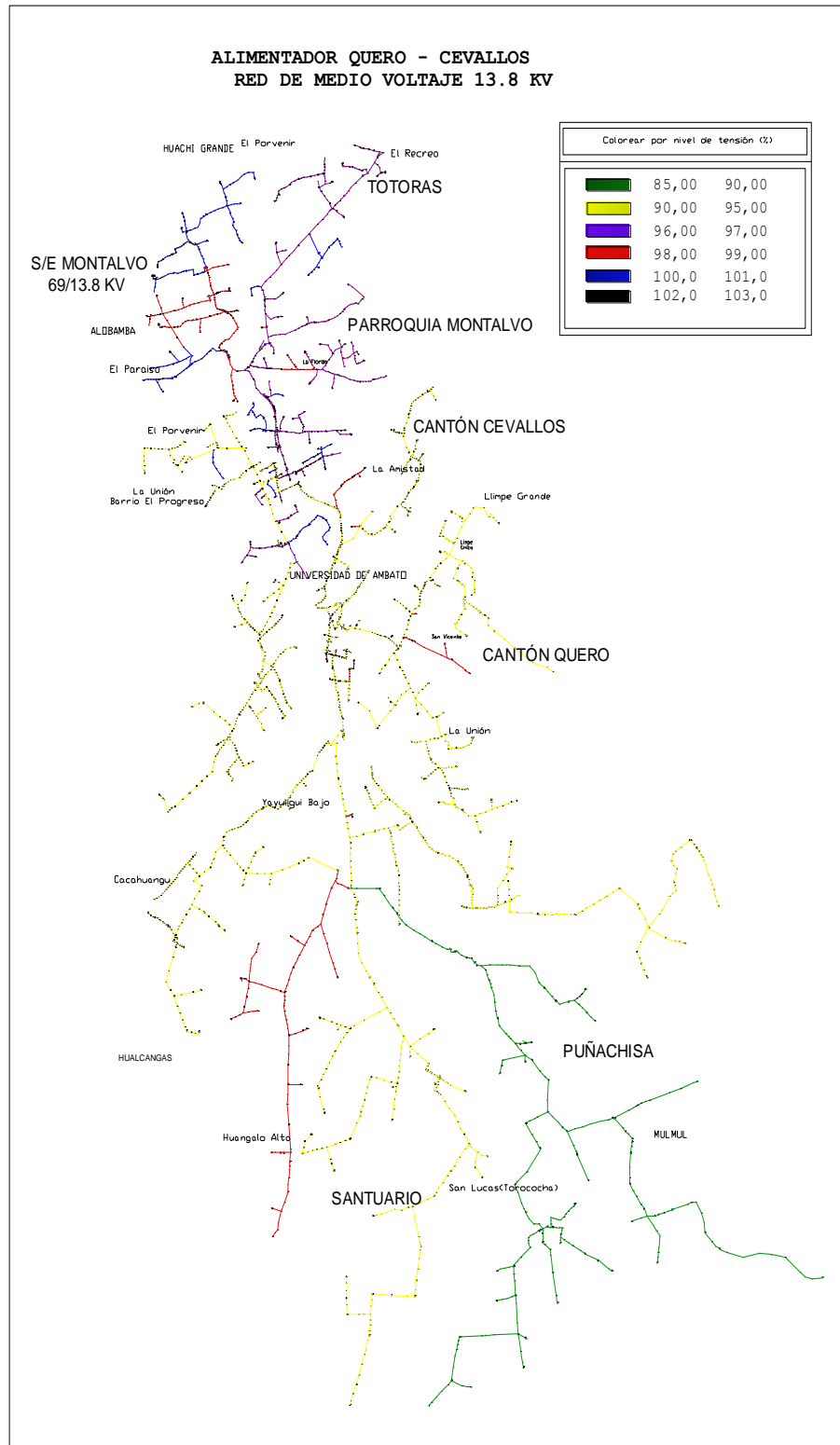
Debido a que nuestro estudio se basa en ubicar óptimamente la nueva subestación es indispensable realizar el análisis de caída de voltaje y perfiles de potencia, con el fin de disminuir las suspensiones de servicio y las pérdidas de energía existentes en los alimentadores.

El análisis de caída de tensión permite calcular el voltaje, la caída de voltaje, la corriente, el flujo de carga y las pérdidas en o a la largo de cada tramo del alimentador, en cambio los perfiles de potencia muestran la disminución de potencia desde la subestación hasta los puntos en donde se desee realizar el estudio.

Para obtener resultados confiables, es necesario que la información ingresada al programa CYMDIST sean datos reales y actualizados, ya que de esta manera se podrá emitir criterios y soluciones más acertadas al problema.

El estudio de caída de tensión en el alimentador Quero - Cevallos se muestra en la figura 1.18, en donde se puede visualizar los resultados mediante los colores que indican las sobrecargas y condiciones de sobretensión o de subtensión, de acuerdo a los umbrales registrados en las opciones de visualización.

**FIGURA N° 1.18**  
**CAÍDA DE VOLTAJE, ALIMENTADOR QUERO – CEVALLOS**



Fuente: Parámetros Cymdist  
 Realizado por: Grupo de investigadores

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar un nivel de voltaje óptimo en los sitios cercanos a la Subestación Montalvo y también en el ramal trifásico principal; esto se puede analizar mediante los rangos de nivel de voltaje establecidos de acuerdo a su color.

Las fases de este alimentador sufren un desbalance, siendo la fase A la más aliviada con una carga conectada de 2013,5 KVA mientras que a la fase C se le asigna una carga de 21,28 KVA y a la fase B 3056 KVA.

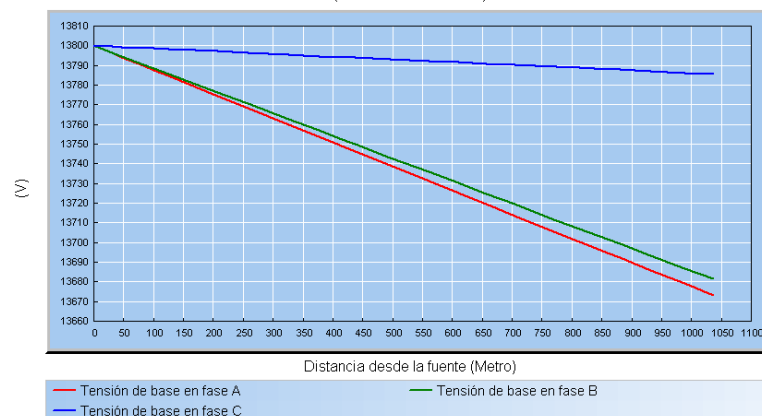
Además se puede notar que la carga se encuentra dispersa en una distancia de 26,5 km, lo cual ocasiona pérdidas de voltaje y potencia en las líneas de distribución; por esta razón las pérdidas de potencia alcanzan un valor de 109,09 KW.

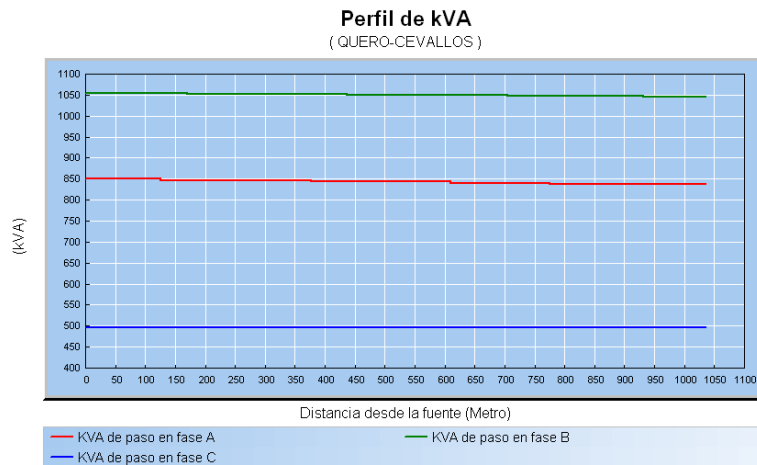
A continuación, en la figura 1.19, se muestra el perfil de voltaje y potencia de una carga cercana a la subestación Montalvo.

FIGURA N° 1.19  
PERFIL DE VOLTAJE Y POTENCIA, RAMAL TRIFÁSICO

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR
A	13673,3	13,7	7,9	106,0	837,0	805,0	229,1
B	13681,4	13,7	7,9	132,4	1045,9	1001,2	302,3
C	13785,6	13,8	8,0	62,3	496,3	480,9	122,7
Total:					2379	2287	654

Perfil de tensión  
(QUERO-CEVALLOS)



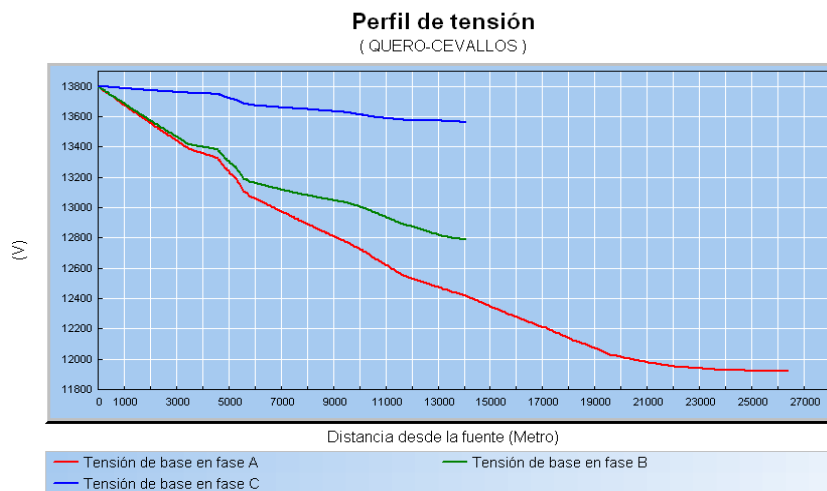


Fuente: Resultados flujos de potencia, Cymdist  
 Realizado por: Grupo de investigadores

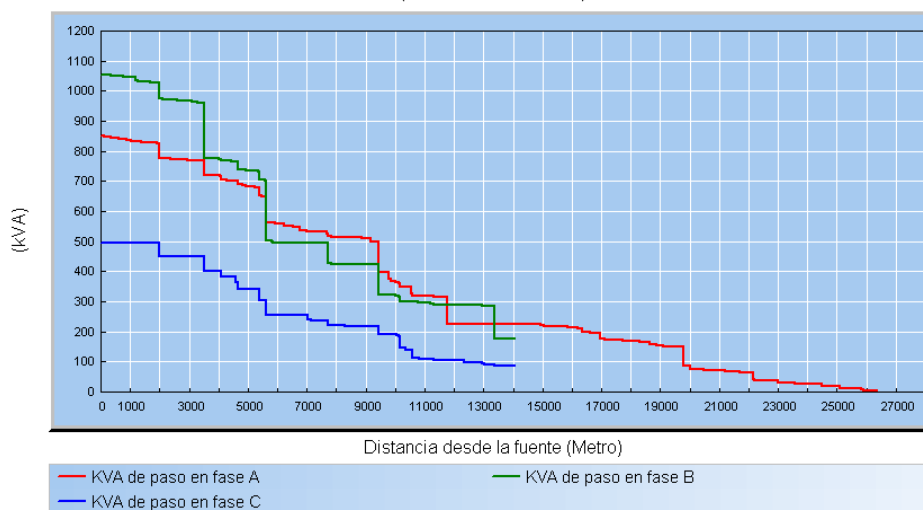
El nivel de voltaje en los puntos más alejados del alimentador desciende hasta un 13 % del valor nominal, esto se puede observar detalladamente en la figura 1.20.

FIGURA N° 1.20  
 PERFIL DE VOLTAJE Y POTENCIA, RAMAL MONOFÁSICO

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR
A	11918,4	11,9	6,9	0,8	5,4	5,2	1,4
B							
C							
Total:					5	5	1



**Perfil de kVA**  
( QUERO-CEVALLOS )



Fuente: Resultados flujos de potencia, Cymdist  
Realizado por: Grupo de investigadores

A continuación se muestran los resultados de la distribución de carga en el alimentador “Quero - Cevallos” que contienen: la potencia total instalada, demanda medida y asignada a cada una de las fases y secciones ingresadas al alimentador en análisis:

TABLA N° 1.4  
DISTRIBUCIÓN DE CARGA EN EL ALIMENTADOR “QUERO - CEVALLOS”

Valores		Registrados				Asignados*		
Magnitud	Longitud	Carga Instalada	Demanda Máxima	Corriente	Factor de Potencia	Demanda Máxima	Corriente	Factor de Potencia
Fase	km	[kVA]	[kW]	[A]	%	[kW]	[A]	%
A	26,5	2013,5	812,12	106,18	96	792	103,56	95,99
B	24,3	3056	1060,15	138,60	96	1008	132,67	95,36
C	20,2	2128	532,1	69,57	96	498	64,60	96,76
Total		7197,5	2404,37			2298		

Fuente: Base de datos EEASA, resultados Cymdist  
Realizado por: Grupo de investigadores.



TABLA N° 1.5  
PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA, ALIMENTADOR  
QUERO - CEVALLOS

Valores	Requerimientos de la red	
Magnitud	Reactivos	Pérdidas
Fase	[kVAR]	[kW]
A	42,27	61,05
B	66,92	43,35
C	3,84	4,69
Total	113,03	109,09

Fuente: Resultados Cymdist  
Realizado por: Grupo de investigadores.

Una vez realizada la distribución de carga en el alimentador “Quero - Cevallos”, se muestran los resultados de las caídas y perfiles de voltajes más críticos de la red primaria, indicados por fase y número de tramo, para las condiciones actuales de operación.

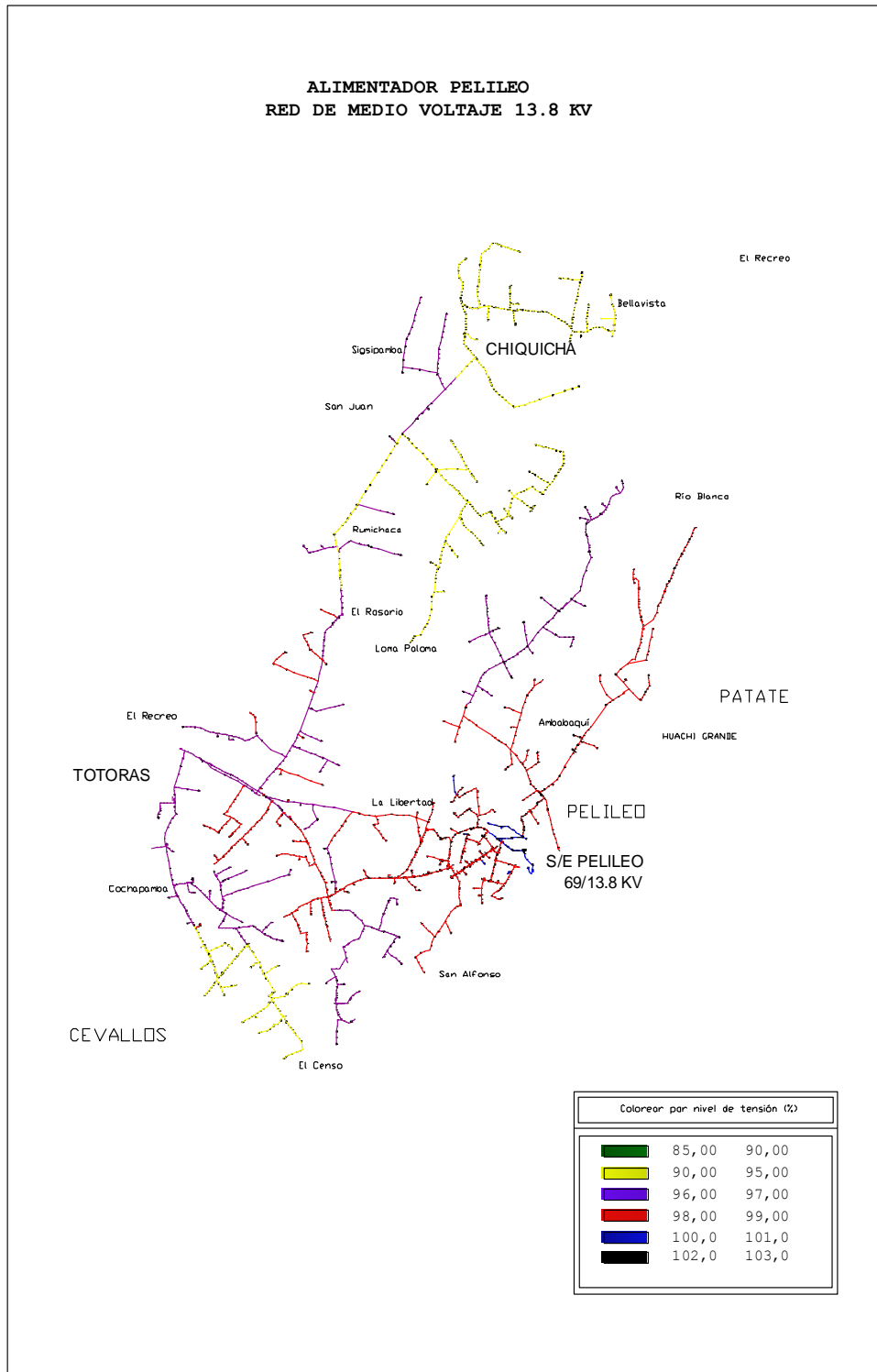
TABLA N° 1.6  
REPORTE DE CAÍDAS DE VOLTAJE EN TRAMOS CRÍTICOS DE LA RED,  
ALIMENTADOR QUERO - CEVALLOS

	Fase	Conteo	Peor caso	%	dV%
	A	37	132288	9387,65	
Sobrecarga	B	37	132288	10087,48	
	C	36	132288	5103,04	
	A	2062	2141	86,23	13,77
<b>Bajo voltaje</b>	B	2329	2483	90,63	9,37
	C	0	2759	97,65	2,35
	A	0	QUERO-CEVALLOS	100,00	
Alto voltaje	B	0	QUERO-CEVALLOS	100,00	
	C	0	QUERO-CEVALLOS	100,00	

Fuente: Resultados Cymdist  
Realizado por: Grupo de investigadores.

De forma similar al alimentador Quero – Cevallos, es necesario analizar los perfiles de voltaje y potencia de los alimentadores Pelileo y Tisaleo; de esta manera se puede conocer sus puntos óptimos y críticos. En la figura 1.21 se muestra el estudio de caída de voltaje del alimentador Pelileo con sus respectivos valores.

FIGURA N° 1.21  
 CAÍDA DE VOLTAJE, ALIMENTADOR PELILEO



Fuente: Resultados flujos de potencia, Cymdist  
 Realizado por: Grupo de investigadores

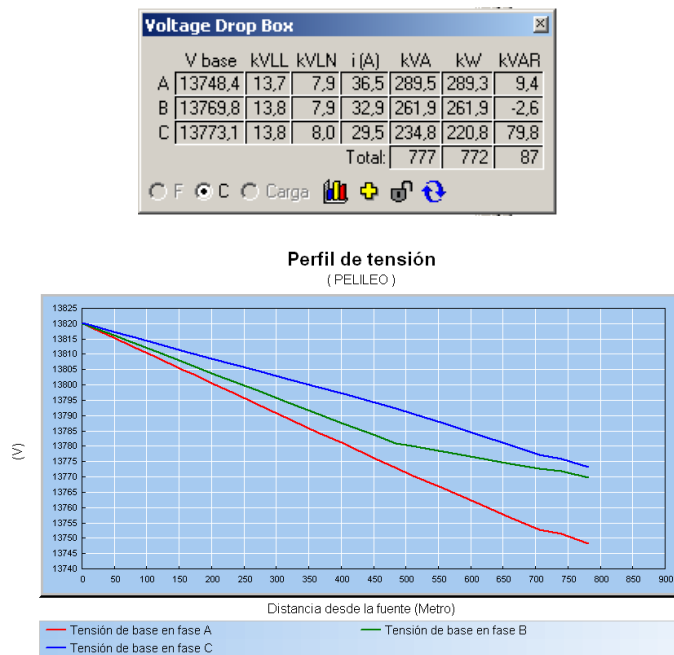
De forma similar a los resultados obtenidos en el alimentador Quero Cevallos, se puede observar niveles de voltaje inadecuados en los ramales más alejados del alimentador, el porcentaje máximo de caída de voltaje está comprendido entre el 5 y 10% del voltaje nominal. También es evidente un desbalance entre sus fases, pues a la fase B se tiene conectada una carga de 3954,3 KVA; mientras que a las fases A y C están conectadas cargas de 2570,2 y 2438 KVA respectivamente.

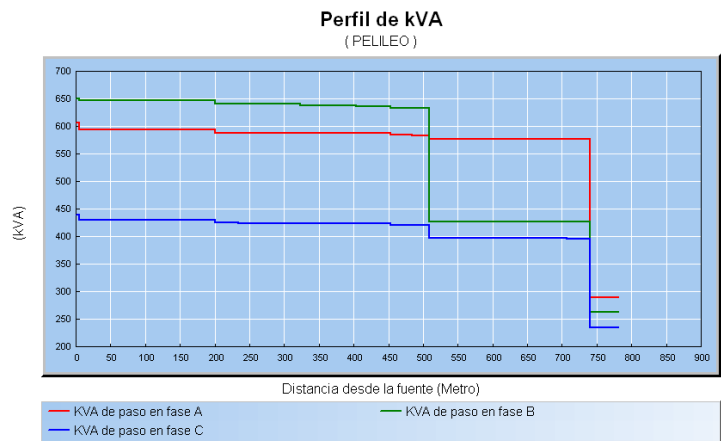
La carga más alejada de la subestación se encuentra a 18 km, por lo que se determina que la mayor parte de la carga se encuentra concentrada dentro del cantón Pelileo.

Las pérdidas de potencia en este alimentador alcanzan un valor de 86,02 KW, inferiores a las del alimentador Quero – Cevallos.

En la figura 1.22 se muestra el perfil de voltaje y potencia de una carga cercana a la subestación Pelileo.

FIGURA N° 1.22  
PERFIL DE VOLTAJE Y POTENCIA, RAMAL TRIFÁSICO



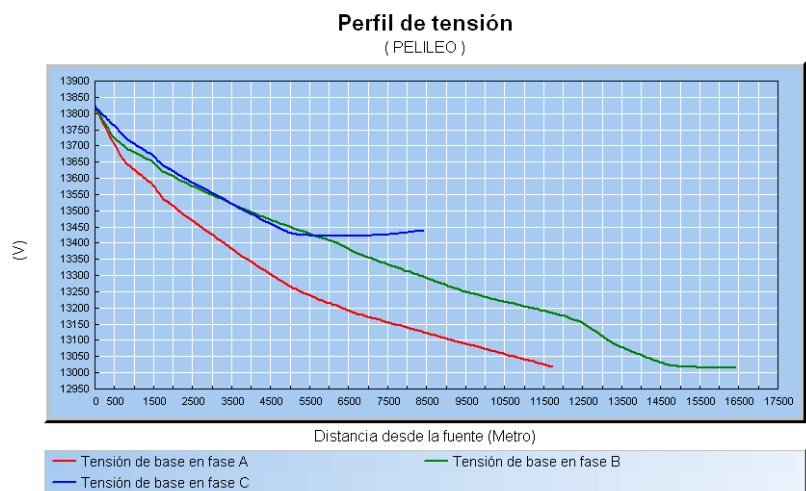


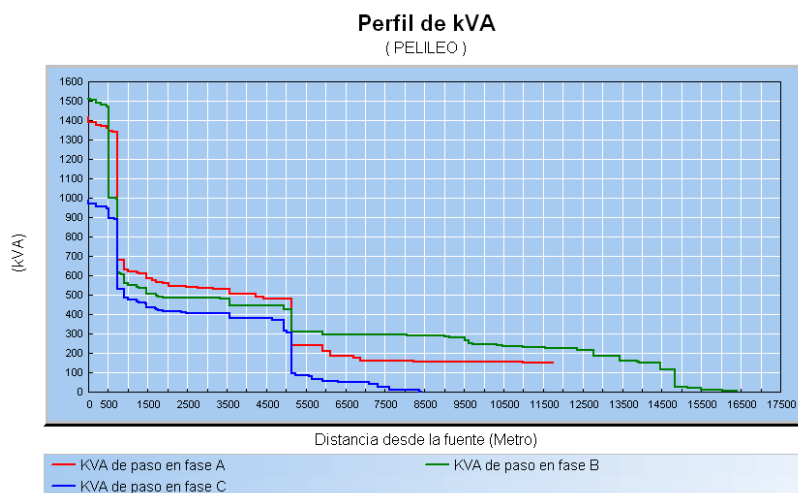
Fuente: Resultados flujos de potencia, Cymdist  
 Realizado por: Grupo de investigadores

El nivel de voltaje en los puntos más alejados del alimentador desciende hasta un 10% del valor nominal en los ramales monofásicos, esto se puede observar detalladamente en la figura 1.23.

FIGURA N° 1.23  
 PERFIL DE VOLTAJE Y POTENCIA, RAMAL MONOFÁSICO

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR
A							
B	13014,2	13,0	7,5	0,7	5,1	4,9	1,4
C							
Total:					5	5	1





Fuente: Resultados flujos de potencia, Cymdist  
Realizado por: Grupo de investigadores

A continuación se muestran los resultados de la distribución de carga en el alimentador “Pelileo” que contienen: la potencia total instalada, demanda medida y asignada a cada una de las fases y secciones ingresadas al alimentador en análisis:

**TABLA N° 1.7**  
**DISTRIBUCIÓN DE CARGA EN EL ALIMENTADOR “PELILEO”**

Valores		Registrados				Asignados*		
Magnitud	Longitud	Carga Instalada	Demanda Máxima	Corriente	Factor de Potencia	Demanda Máxima	Corriente	Factor de Potencia
Fase	km	[kVA]	[kW]	[A]	%	[kW]	[A]	%
A	16,5	2570,2	1151,7	149,02	97	1302,86	168,08	97,29
B	18,0	3954,3	1309,6	169,45	97	1392,15	179,73	97,22
C	11,4	2438	1464,4	189,48	97	899,81	115,33	95,92
Total		8962,5	3926			3594,82		

Fuente: Base de datos EEASA, resultados Cymdist  
Realizado por: Grupo de investigadores.

**TABLA N° 1.8**  
**PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA, ALIMENTADOR**  
**PELILEO**

Valores	Requerimientos de la red	
Magnitud	Reactivos	Pérdidas
Fase	[kVAR]	[kW]
A	30,31	38,10
B	31,93	31,65
C	8,38	16,28
Total	70,62	86,02

Fuente: Resultados Cymdist  
 Realizado por: Grupo de investigadores.

Una vez realizada la distribución de carga en el alimentador “Pelileo”, se muestran los resultados de las caídas y perfiles de voltajes más críticos de la red primaria, indicados por fase y número de tramo, para las condiciones actuales de operación.

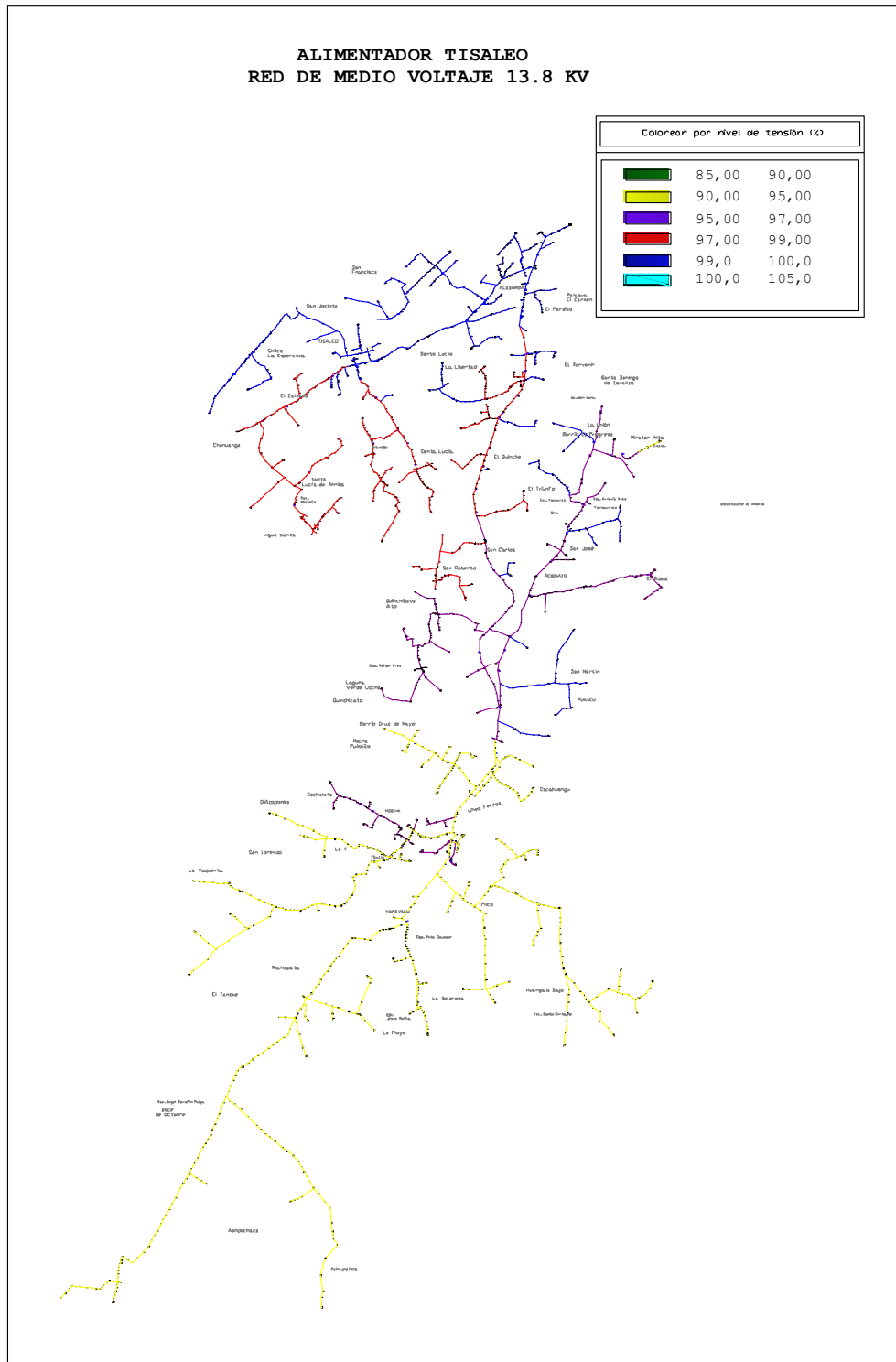
**TABLA N° 1.9**  
**REPORTE DE CAÍDAS DE VOLTAJE EN TRAMOS CRÍTICOS DE LA RED,**  
**ALIMENTADOR PELILEO**

	Fase	Conteo	Peor caso	%	dV%
Sobrecarga	A	0	PEL2333	82,34	
	B	0	PEL2333	89,29	
	C	0	PEL2333	57,58	
Bajo voltaje	A	631	PEL3816	94,15	5,85
	B	370	PEL3583	94,45	5,55
	C	0	PEL4223	96,10	3,9
Alto voltaje	A	0	PELILEO	100,14	
	B	0	PELILEO	100,14	
	C	0	PELILEO	100,14	

Fuente: Resultados Cymdist  
 Realizado por: Grupo de investigadores.

En la figura 1.24 se muestra el estudio de caída de voltaje del alimentador Tisaleo con sus respectivos valores.

FIGURA N° 1.24  
CAÍDA DE VOLTAJE, ALIMENTADOR TISALEO



Fuente: Resultados flujos de potencia, Cymdist  
Realizado por: Grupo de investigadores



De los resultados generados se puede observar niveles de voltaje inadecuados en los ramales más alejados del alimentador, el porcentaje máximo de caída de voltaje está comprendido entre el 5 y 10% del voltaje nominal. También es evidente un desbalance entre sus fases, pues a la fase B se tiene conectada una carga de 2427 KVA; mientras que a las fases A y C están conectadas cargas de 1582 y 1134 KVA respectivamente.

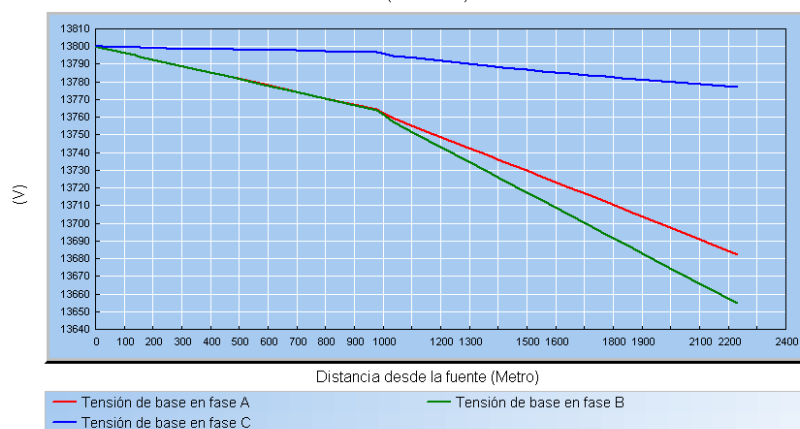
Además se puede notar que la carga se encuentra dispersa en una distancia de 22,5 km, lo cual ocasiona pérdidas de voltaje y potencia en las líneas de distribución; por esta razón las pérdidas de potencia alcanzan un valor de 39,43 KW.

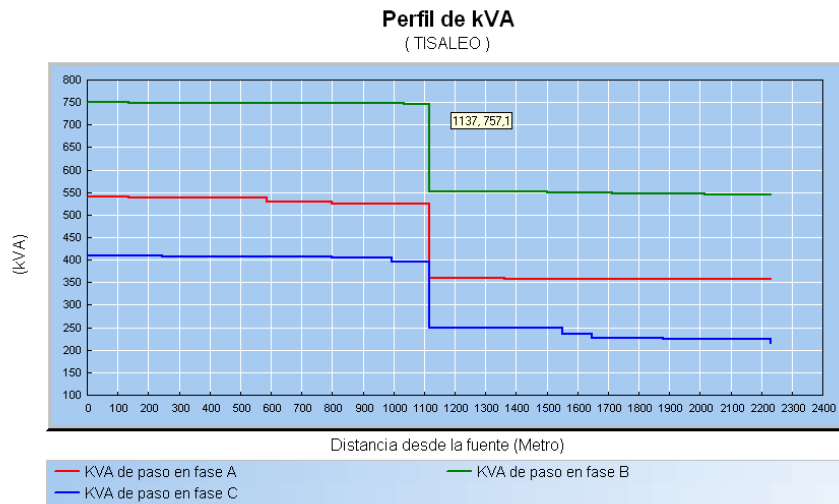
En la figura 1.25 se muestra el perfil de voltaje y potencia de una carga cercana a la subestación Pelileo.

FIGURA N° 1.25  
PERFIL DE VOLTAJE Y POTENCIA, RAMAL TRIFÁSICO

Cuadro de caída de tensión							
	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR
A	13682,2	13,7	7,9	45,2	357,3	347,4	83,6
B	13654,9	13,7	7,9	69,1	545,6	526,5	143,0
C	13777,1	13,8	8,0	27,2	216,1	210,6	48,5
Total:					1119	1084	275

Perfil de tensión  
(TISALEO)



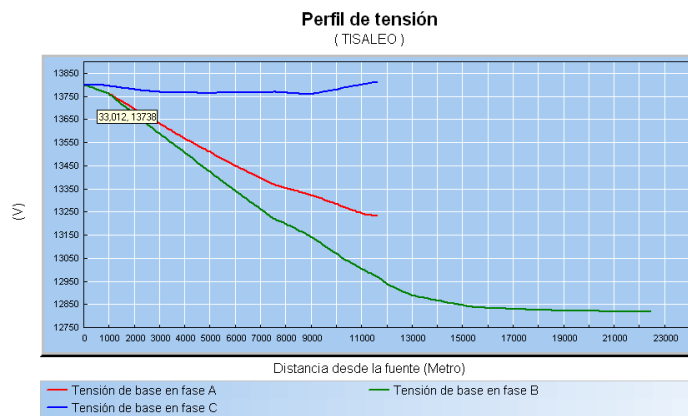


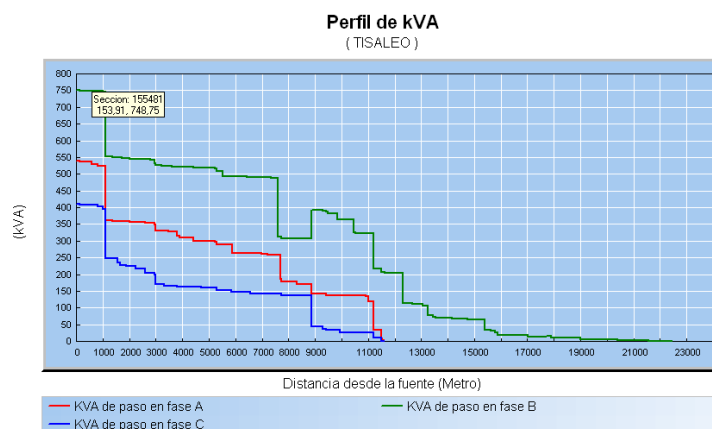
Fuente: Resultados flujos de potencia, Cymdist  
 Realizado por: Grupo de investigadores

El nivel de voltaje en los puntos más alejados del alimentador desciende hasta un 10% del valor nominal en los ramales monofásicos, esto se puede observar detalladamente en la figura 1.26.

FIGURA N° 1.26  
 PERFIL DE VOLTAJE Y POTENCIA, RAMAL MONOFÁSICO

	V base	kVLL	kVLN	i [A]	kVA	kW	kVAR
A				0,0	0,0	-0,0	-0,0
B	12819,7	12,8	7,4	0,0	0,0	-0,0	-0,0
C							
Total:				0	-0	-0	





Fuente: Resultados flujos de potencia, Cymdist  
Realizado por: Grupo de investigadores

A continuación se muestran los resultados de la distribución de carga en el alimentador “Pelileo” que contienen: la potencia total instalada, demanda medida y asignada a cada una de las fases y secciones ingresadas al alimentador en análisis:

TABLA N° 1.10  
DISTRIBUCIÓN DE CARGA EN EL ALIMENTADOR “TISALEO”

Valores		Registrados				Asignados*		
Magnitud	Longitud	Carga Instalada	Demanda Máxima	Corriente	Factor de Potencia	Demanda Máxima	Corriente	Factor de Potencia
Fase	km	[kVA]	[kW]	[A]	%	[kW]	[A]	%
A	14	1582	537,23	69,51	97	529	68,32	97,18
B	22,5	2427	729,13	94,34	97	721	93,79	96,49
C	11,3	1134	426,17	55,14	97	411	52,99	97,34
Total		5143	1692,53			1661		

Fuente: Base de datos EEASA, resultados Cymdist  
Realizado por: Grupo de investigadores.

TABLA N° 1.11  
PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA, ALIMENTADOR  
TISALEO

Valores	Requerimientos de la red	
Magnitud	Reactivos	Pérdidas
Fase	[kVAR]	[kW]
A	6,02	12,38
B	33,44	26,06
C	2,25	0,99
Total	41,72	39,43

Fuente: Resultados Cymdist  
Realizado por: Grupo de investigadores.

Una vez realizada la distribución de carga en el alimentador “Tisaleo”, se muestran los resultados de las caídas y perfiles de voltajes más críticos de la red primaria, indicados por fase y número de tramo, para las condiciones actuales de operación.

TABLA N° 1.12  
REPORTE DE CAÍDAS DE VOLTAJE EN TRAMOS CRÍTICOS DE LA RED,  
ALIMENTADOR TISALEO

	Fase	Conteo	Peor caso	%	dV%
	A	22	215810	6775,08	
Sobrecarga	B	41	215810	9421,37	
	C	14	215810	5148,63	
	A	0	163975	95,71	4,29
Bajo voltaje	B	1379	224561	92,90	7,1
	C	0	179249	99,11	0,89
	A	0	TISALEO	100,00	
Alto voltaje	B	0	TISALEO	100,00	
	C	0	163381	100,09	

Fuente: Resultados Cymdist  
Realizado por: Grupo de investigadores.

Finalmente, de acuerdo a los resultados generados por el software CYMDIST, se puede concluir que tanto el alimentador Quero – Cevallos, Pelileo y Tisaleo presentan problemas de caída de voltaje y pérdidas de potencia; por lo que se supone que la ubicación más tentativa de una nueva subestación sería en un sitio intermedio entre los alimentadores, con el fin de aliviar y balancear carga. Durante el estudio definitivo se definirá si solamente es posible tomar carga de estos alimentadores o si también es necesario incluir otros.

## **CAPÍTULO II**

### **PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

## **2.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO**

La Empresa Erétrica Ambato Regional Centro Norte S.A., fue constituida el 29 de abril de 1959, y desde entonces ha mantenido su afán de servir a sus 161.999 clientes ubicados en las Provincias de Tungurahua, Pastaza, Napo y Cantones de Palora, Huamboya de Morona Santiago y Archidona, tarea en la cual su personal ha tenido un papel protagónico, no se ha mantenido inmóvil, sino que por el contrario, ha venido implementando cambios que a su juicio le han permitido cumplir ante la comunidad.

**Misión:** Suministrar Energía Eléctrica, con las mejores condiciones de calidad y continuidad, para satisfacer las necesidades de los clientes en su área de concesión, a precios razonables y contribuir al desarrollo económico y social.

**Visión:** Constituirse en empresa líder en el suministro de energía eléctrica en el país.

Sus principios se fundamentan en:

- ✓ Disponer de recursos humanos capacitados, motivados y comprometidos con los objetivos constitucionales.
- ✓ Practicar una gestión Gerencial moderna, dinámica, participativa, comprometida en el mejoramiento continuo.

- ✓ Disponer de un sistema eléctrico confiable, utilizando tecnología adecuada.
- ✓ Tener procesos automatizados e integrados.

La prestación de servicio eléctrico implica para la EEASA un despliegue material, humano y tecnológico apreciable por un lado y permanente por otro, toda vez que, se debe laborar las 24 horas del día y los 365 días del año, en ambientes de trabajo altamente peligrosos y condiciones climáticas bastante adversas, para atender adecuadamente las demandas de la clientela.

A fin de responder satisfactoriamente a esas demandas, la EEASA ha debido en el transcurrir del tiempo adoptar esquemas organizativos que satisfagan dichas demandas, buscando permanentemente acortar los tiempos de respuesta para los diferentes trámites y la satisfacción del cliente.

**Sus debilidades principales son:**

- ✓ Ausencia de inversión en empresas generadoras. Por lineamientos de ex INECEL.
- ✓ Inadecuada infraestructura eléctrica en determinados sectores del área de concesión, (parcialidad).
- ✓ No disponer de una tarifa regulada que cubra los costos del servicio eléctrico. Debido a Tarifa de la dignidad y compensaciones incumplidas.

**Sus fortalezas principales son:**

- ✓ Experiencia del capital humano.
- ✓ Bajo índice de pérdidas.
- ✓ Bajo porcentaje de cartera vencida.
- ✓ Mayor cobertura a nivel nacional (oportunidad).
- ✓ Mayor porcentaje de electrificación rural.
- ✓ Mercado cautivo.

En su Plan Estratégico EEASA 2007 – 2011, se contemplan varios objetivos:

**a. Objetivos Estratégicos Financieros:**

- ✓ Conseguir anualmente resultados positivos.
- ✓ Disminuir los costos y gastos.
- ✓ Disminuir el ciclo comercial.
- ✓ Reducir pérdidas de energía.

**b. Objetivos Estratégicos de Clientes:**

- ✓ Mejorar continuamente la calidad del servicio técnico y comercial en el suministro de energía en el área de concesión de la Empresa.
- ✓ Implementar planes de acercamiento y participación de la Empresa con la comunidad.
- ✓ Fortalecer la imagen corporativa.
- ✓ Minimizar el impacto ambiental generado por la actividad empresarial.

**c. Objetivos Estratégicos de Procesos:**

- ✓ Mejorar los procesos institucionales.
- ✓ Cumplir el marco regulatorio.
- ✓ Optimizar la infraestructura empresarial.

**d. Objetivos Estratégicos de Capital Intangible:**

- ✓ Impulsar permanentemente el cambio y la innovación.
- ✓ Gestionar al personal bajo el enfoque de competencias.
- ✓ Fortalecer la cultura empresarial.



- ✓ Integrar los sistemas informáticos departamentales en uno solo institucional.

La Empresa Eléctrica Ambato ratifica su compromiso de seguir realizando todas las acciones que sean necesarias para continuar en el proceso de mejoramiento continuo, muy a pesar de sus limitaciones en cuanto a recursos económicos.

## **2.2 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO**

El sistema eléctrico de la Empresa Eléctrica Ambato, dispone en la actualidad de 11 líneas de subtransmisión a 69 KV y de igual número de subestaciones de distribución de 69/13,8 KV; el sistema de distribución consta de 51 alimentadores primarios a 13,8 KV. A las redes de medio voltaje se encuentra conectado el sistema de generación con la central Hidráulica La Península y la central Térmica Lligua.

La topología actual del sistema eléctrico de la EEASA, consiste de seis puntos de alimentación a través de las subestaciones Ambato y Totoras de propiedad de TRANSELECTRIC y la central Hidráulica Agoyán, para el sector de la zona Oriental. El sistema de subtransmisión está representado por una configuración en anillo para la Provincia del Tungurahua y una red radial para las subestaciones de Pelileo y Baños.

El sistema de distribución en medio y bajo voltaje, es radial. En caso de presencia de fallas y suspensiones de servicio por mantenimiento en la mayoría de casos (60 %) existe la posibilidad de realizar transferencias de carga en forma parcial, a través de la operación de los seccionamientos que se dispone en los puntos frontera de los alimentadores.

El sistema eléctrico está monitoreado a través del Centro de Control y Supervisión a nivel de subestaciones de distribución lo que facilita la gestión en la operación del sistema.

Los alimentadores involucrados directamente en nuestro estudio son el Quero – Cevallos, Tisaleo y Pelileo, los cuales parten desde las subestaciones Montalvo y Pelileo respectivamente.

El alimentador Quero – Cevallos brinda servicio principalmente a los cantones Quero y Cevallos de la Provincia de Tungurahua, además provee de energía a sectores como Montalvo, La libertad, San Francisco, Shaushi Chico, Hualcanga, Agua Santa, etc. Esto demuestra que la mayoría del recorrido de este alimentador se lo realiza por el sector rural.

Los abonados conectados a este alimentador son aproximadamente 10150, evidenciándose en su mayoría ser de tipo residencial, puesto que su consumo mensual no supera los 200 KWh/mes.

El alimentador Tisaleo brinda servicio principalmente a los sectores de Tisaleo, Alobamba, Mocha, El Triunfo, El Calvario, etc. Esto demuestra que la mayoría del recorrido de este alimentador se lo realiza por el sector rural.

Al igual que en el alimentador Quero – Cevallos, los abonados conectados a este alimentador son en su mayoría de tipo residencial.

El alimentador Pelileo brinda servicio al Cantón del mismo nombre, además provee de energía a sectores como Ambabaquí, El Calvario, Chiquicha, Pintag, Patuliquí, El Tambo, etc. De forma similar al alimentador Quero. Cevallos, el alimentador Pelileo se distribuye en su mayoría a lo largo del sector rural.

Los abonados conectados a este alimentador son 9009, al igual que en los casos anteriores, sus usuarios son mayoritariamente de tipo residencial.

En la siguiente tabla se presentan datos en cuanto a la operación realizada por la Empresa Eléctrica Ambato en los últimos años.

**TABLA N° 2.1**  
**EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO EN CIFRAS**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
Número de consumidores regulados	175.248	182.458
Número de grandes consumidores	3	2
Número de autoprodutores	1	1
Energía facturada (MWh)	409.245	434.287
Energía comprada en el M.E.M. (MWh)	463.283	484.101
Energía generada térmica (MWh)	910	640
Energía generada hidráulica (MWh)	7.807	11.365
Facturación por venta energía (miles de USD) (1)	35.158,40	36.856,78
Facturación por venta energía (miles de USD) (2)	40.775,49	42.340,08
Recaudación por venta de energía (miles USD) (2)	40.179,03	40.684,20
Eficiencia en la recaudación (2)	98,54 %	96,09 %
Monto por la energía comprada (miles de USD)	30.090,00	28.940,15
Precio medio de venta (USDcent/kWh-client. regul.)	10,87	10,81
Costo medio de compra de energía (USDcen/kWh)	6,49	5,98
Porcentaje total de pérdidas de energía (4)	11,66	10,29
Demanda máxima del sistema (MW)	90,06	94,86

Fuente: WWW.EEASA.com.ec  
Recopilado por: Grupo de investigadores

### **2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA ENCUESTA APLICADA A**

## LOS USUARIOS DE LOS ALIMENTADORES QUERO – CEVALLOS, TISALEO Y PELILEO

Para el desarrollo de este proyecto de investigación, se utiliza una metodología fundamentada en una investigación de campo, descriptiva y aplicada; que emplea los métodos científico, analítico – sintético y descriptivo, además se utilizan técnicas de recolección de información tales como: la observación y la encuesta, dirigidas a un universo específico.

La población que participa en el proceso de investigación son los grandes clientes y usuarios más alejados de los alimentadores Quero- Cevallos, Tisaleo y Pelileo de las Subestaciones Montalvo y Pelileo respectivamente.

La muestra se calcula en base a la siguiente fórmula.

$$n = \frac{PQN}{\frac{(N-1)E^2}{K^2} + PQ}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra.

PQ: Constante de la varianza poblacional (0.25)

N: Tamaño de la población.

E: Error máximo admisible (el 7%, 0.07)

K: Coeficiente de corrección del error (2).

De acuerdo a un análisis de los transformadores monofásicos y trifásicos instalados en los dos alimentadores, de los clientes industriales y de los finales de tramo de los alimentadores, tenemos una población de 215 clientes mayormente afectados por el problema, por lo que la muestra es calculada de la siguiente manera:

$$n = \frac{(0,25)(215)}{\frac{(215-1)(0,07)^2}{4} + 0,25}$$

Cuyo resultado es:  $n = 104,94$

Realizando la aproximación respectiva se obtiene una muestra igual a 105 Abonados de los alimentadores Quero- Cevallos, Tisaleo y Pelileo.

### 2.3.1 Encuesta

Esta técnica nos ayuda a identificar de manera clara y precisa el problema, por lo que se han formulado diez preguntas, las cuales están orientadas a conocer principalmente la opinión de los usuarios en cuanto a la calidad de servicio que brinda la Empresa Eléctrica Ambato. *Ver Anexo N° 1 formulario de encuesta.*

#### 2.3.1.1 Análisis por preguntas

1. Considera Ud., que los servicios que brinda la Empresa Eléctrica Ambato son?

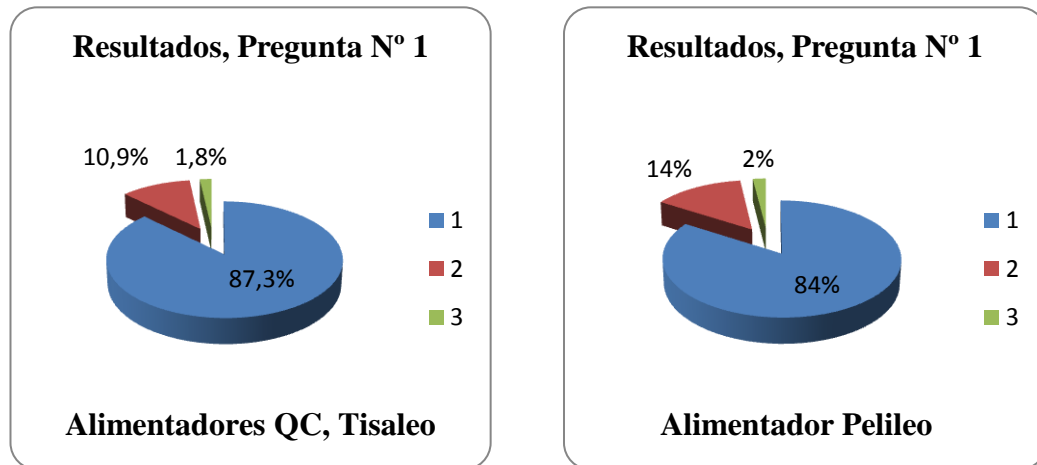
Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA N° 2.2  
PREGUNTA N° 1, VALORACIÓN DE OPCIONES

#	OPCIONES	Quero – Cevallos, Tisaleo		Pelileo	
		VALOR	%	VALOR	%
1	ADECUADOS	48	87,3	42	84
2	INADECUADOS	6	10,9	7	14
3	DESCONOCE	1	1,8	1	2
	<b>TOTAL</b>	<b>55</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

FIGURA N° 2.1  
RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 1



Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

### **Análisis e interpretación**

Esta pregunta está orientada a conocer la opinión de los clientes en cuanto a los servicios que en general brinda la Empresa Eléctrica Ambato, en donde se muestra que tanto los usuarios de los alimentadores Quero – Cevallos, Tisaleo y Pelileo están conformes con la labor que desarrolla la empresa distribuidora; pero al realizar una comparación entre los resultados de los dos alimentadores, se evidencia que el 14% de los usuarios del alimentador Pelileo creen que los servicios son inadecuados, frente a un 10,9% de usuarios de los alimentadores Quero – Cevallos y Tisaleo.

El 87,3% de encuestados de los alimentadores Quero – Cevallos y Tisaleo asegura que los servicios que brinda la EEASA son adecuados, frente a un 84% que opinan de forma similar en el alimentador Pelileo. Tan solo un 1,8% y un 2% respectivamente desconocen la situación.

2. Como cliente de la Empresa Eléctrica Ambato, ha tenido inconvenientes con las variaciones de energía?

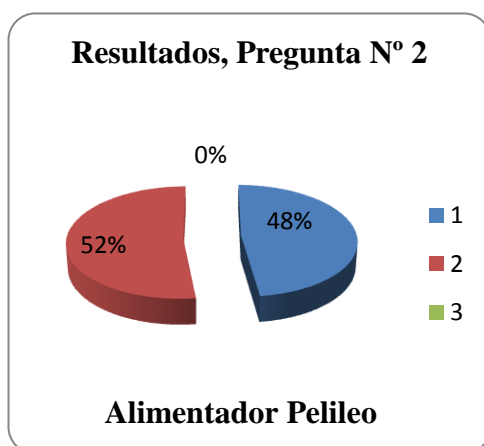
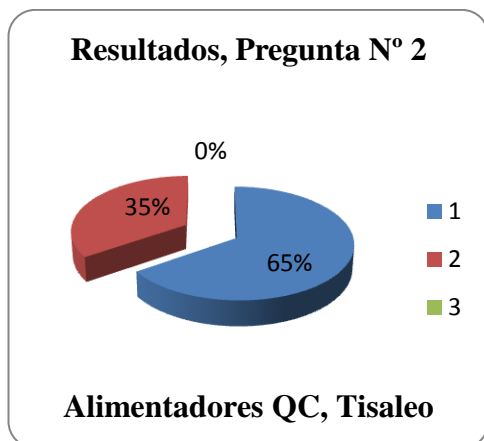
Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA N° 2.3  
PREGUNTA N° 2, VALORACIÓN DE OPCIONES

#	OPCIONES	Quero – Cevallos, Tisaleo		Pelileo	
		VALOR	%	VALOR	%
1	SI	36	65	24	48
2	NO	19	35	26	52
3	DESCONOCE	0	0,0	0	0
	<b>TOTAL</b>	<b>55</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

FIGURA N° 2.2  
RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 2



Fuente: Resultados de encuesta  
 Realizado por: Grupo de investigadores

### **Análisis e interpretación**

Mediante esta pregunta se trata de conocer si los usuarios han tenido o tienen problemas de variaciones de voltaje y si éstas son fácilmente perceptibles. Además, se desea comprobar que los niveles de voltaje son los adecuados, inclusive en los puntos más alejados de los alimentadores de distribución. Frente a estas inquietudes, los usuarios de los alimentadores Quero – Cevallos y Tisaleo manifiestan en su mayoría tener problemas con las caídas de voltaje, evidenciándose esto en un 65% de los resultados; lo contrario sucede en el alimentador Pelileo ya que en este caso el 52% asegura no tener inconvenientes de este tipo.



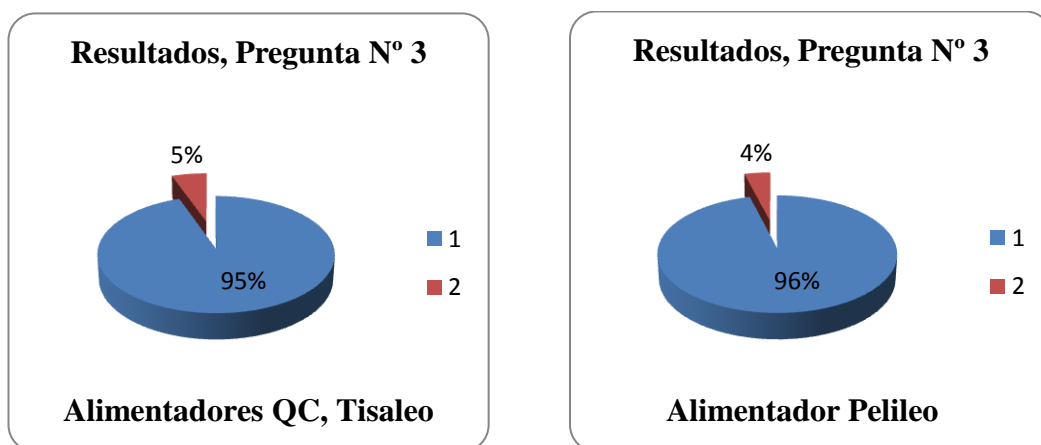
3. Ha tenido usted, problemas con las suspensiones de servicio eléctrico?  
 Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA N° 2.4  
 PREGUNTA N° 3, VALORACIÓN DE OPCIONES

#	OPCIONES	Quero – Cevallos, Tisaleo		Pelileo	
		VALOR	%	VALOR	%
1	SI	52	95	48	96
2	NO	3	5	2	4
	<b>TOTAL</b>	<b>55</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Fuente: Resultados de encuesta  
 Realizado por: Grupo de investigadores

FIGURA N° 2.3  
 RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 3



Fuente: Resultados de encuesta  
 Realizado por: Grupo de investigadores

### Análisis e interpretación

Esta pregunta es realizada para conocer si se efectúan o no suspensiones de servicio eléctrico en los alimentadores Quero – Cevallos, Tisaleo y Pelileo, además para identificar los lugares que mayor problema presentan. Los resultados son claros y se asegura que en todos los alimentadores existen cortes de energía, evidenciándose esto en un 95% de clientes de Quero – Cevallos y Tisaleo, así también un 96% de Pelileo.

Tan solo una mínima cantidad de clientes muestran satisfacción total con la calidad de servicio técnico que brinda la Empresa Eléctrica Ambato.

#### 4. Con qué frecuencia ha percibido usted este tipo de problemas?

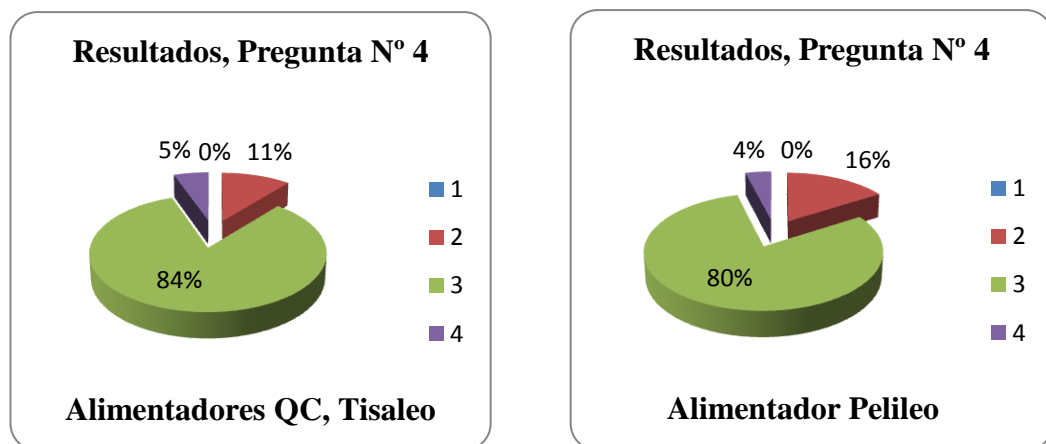
Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA N° 2.5  
 PREGUNTA N° 4, VALORACIÓN DE OPCIONES

#	OPCIONES	Quero – Cevallos, Tisaleo		Pelileo	
		VALOR	%	VALOR	%
1	SEMANAL	0	0	0	0
2	MENSUAL	6	11	8	16
3	AVECES	46	84	40	80
4	NUNCA	3	5,5	2	4
	<b>TOTAL</b>	<b>55</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Fuente: Resultados de encuesta

FIGURA N° 2.4  
RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 4



Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

### Análisis e interpretación

Luego de conocer que si existen problemas de suspensión de servicio eléctrico, es necesario investigar la frecuencia con la cual estos se evidencian, por esta razón se plantea dicha pregunta y se conocen los siguientes resultados; en todos los alimentadores ningún encuestado cree que las suspensiones se las realicen de forma semanal; un 11% en Quero – Cevallos, Tisaleo y un 16% en Pelileo creen que las interrupciones se las realiza al menos una vez por mes, mientras que en ambos casos se opina mayoritariamente que el servicio es suspendido pero no con una frecuencia establecida sino mas bien ocasionalmente. Un 5% de encuestados en Quero - Cevallos, Tisaleo y un 4% en Pelileo dicen nunca haber percibido el problema.

5. Este tipo de problemas le ha ocasionado a usted pérdidas económicas o el daño de algún aparato eléctrico?

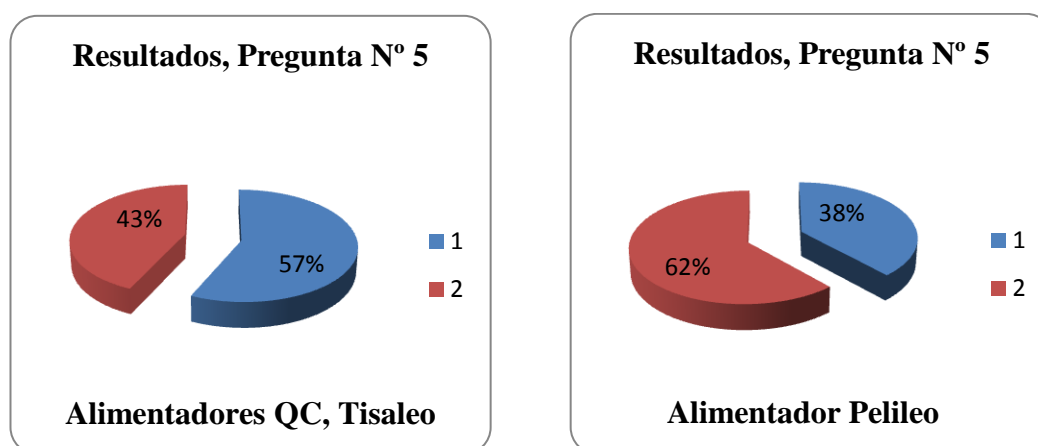
Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA N° 2.6  
PREGUNTA N° 5, VALORACIÓN DE OPCIONES

#	OPCIONES	Quero – Cevallos, Tisaleo		Pelileo	
		VALOR	%	VALOR	%
1	SI	7	13	4	8
2	NO	48	87	46	92
	<b>TOTAL</b>	<b>55</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

FIGURA N° 2.5  
RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 5



Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

### Análisis e interpretación

En esta inquietud se plantea la existencia o no de daños materiales a causa de las variaciones de voltaje o de las suspensiones de servicio eléctrico, de la cual se obtiene que tanto los usuarios del alimentador Quero – Cevallos, Tisaleo y Pelileo coinciden en que esto no les ha causado ningún daño material, evidenciándose esto en un 87% y en un 92% respectivamente; el restante 13% y 8% opina haber perdido aparatos eléctricos y dinero por no haber atendido sus negocios.

6. La Empresa Eléctrica Ambato le comunica a usted las fechas y horas en las cuales se suspenderá el servicio eléctrico?

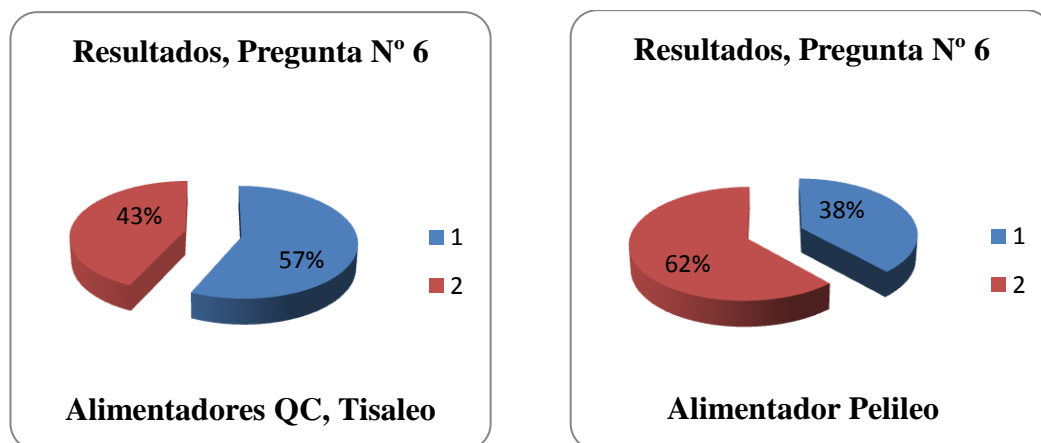
Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA N° 2.7  
PREGUNTA N° 6, VALORACIÓN DE OPCIONES

#	OPCIONES	Quero – Cevallos, Tisaleo		Pelileo	
		VALOR	%	VALOR	%
1	SI	15	27	16	32
2	NO	40	73	34	68
3	DESCONOCE	0	0	0	0
	<b>TOTAL</b>	<b>55</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

FIGURA N° 2.6  
RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 6



Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

### **Análisis e interpretación**

Esta inquietud está planteada con el fin de conocer si la Empresa Eléctrica Ambato notifica a los usuarios acerca de los día y horas en las cuales se suspenderá el servicio eléctrico, a lo cual se obtuvo que, un 73% en los alimentadores Quero – Cevallos, Tisaleo y un 68% en el Pelileo no se encuentran informados; contrariamente, un restante 27% y un 32% respectivamente dicen tener conocimiento de los horarios de las suspensiones aduciendo a que siempre están informados a través de la prensa.

7. Cuando existen cortes de servicio eléctrico en su sector, la reconexión se la realiza de forma: lenta, aceptable o rápida

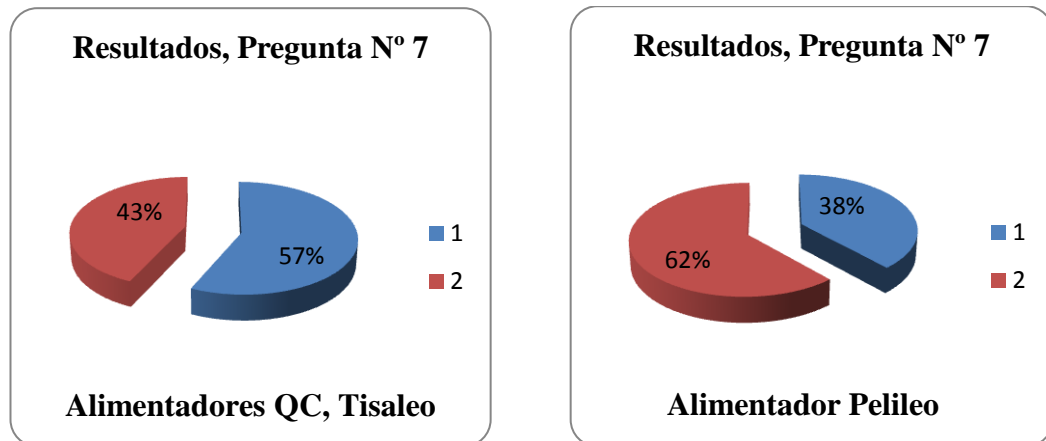
Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA N° 2.8  
PREGUNTA N° 7, VALORACIÓN DE OPCIONES

#	OPCIONES	Quero – Cevallos, Tisaleo		Pelileo	
		VALOR	%	VALOR	%
1	LENTA	14	25	10	20
2	ACEPTABLE	16	29	10	20
3	RÁPIDA	25	45	30	60
	<b>TOTAL</b>	<b>55</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

FIGURA N° 2.7  
RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 7



Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

### Análisis e interpretación

Con el fin de conocer la rapidez con la cual se restablece el servicio eléctrico por parte de la EEASA se ha planteado esta inquietud, a lo que los clientes han respondido de la siguiente manera: en los alimentadores Quero – Cevallos y Tisaleo un 25% opina que la reconexión es lenta, un 29% que es aceptable y en su mayoría en un 45% que es rápida. Porcentajes un tanto similares se muestran en el alimentador Pelileo, un 20% cree que el restablecimiento es lento, otro 20% que es aceptable y mayoritariamente un 60%, que es rápido.

8. En caso de tener cortes de energía, en que horario se producen estos?

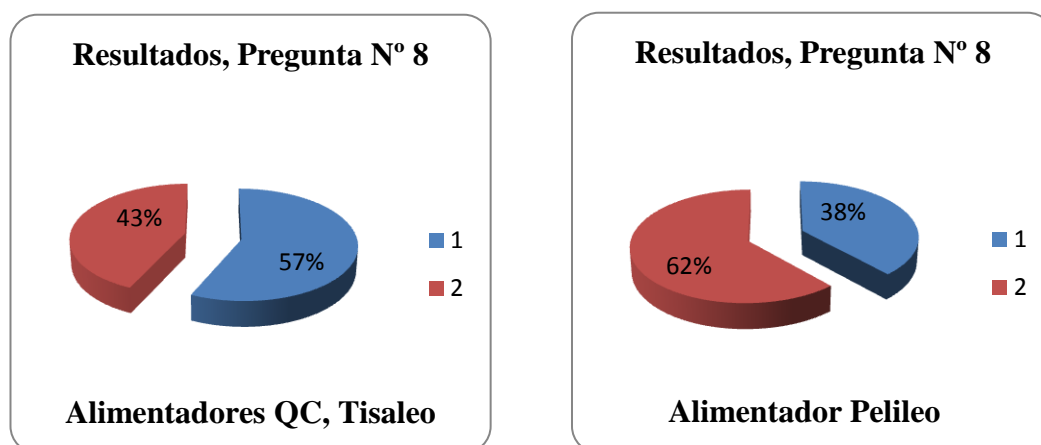
Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA N° 2.9  
PREGUNTA N° 8, VALORACIÓN DE OPCIONES

#	OPCIONES	Quero – Cevallos, Tisaleo		Pelileo	
		VALOR	%	VALOR	%
1	MAÑANA	29	53	18	36
2	TARDE	22	40	29	58
3	NOCHE	4	7	3	6
	<b>TOTAL</b>	<b>55</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

FIGURA N° 2.8  
RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 8



Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

### Análisis e interpretación



En los resultados obtenidos en esta pregunta, en los alimentadores Quero – Cevallos y Tisaleo, el 53% de los encuestados aseguran que las suspensiones de servicio eléctrico se las realizan en la mañana, un 40% dicen que se los realiza durante la tarde y un 7% durante la noche. En cambio los usuarios del alimentador Pelileo opinan; en un 36% que las suspensiones son en la mañana, el 58% en la tarde y el 6% en la noche. Además se debe indicar que en los dos casos se ha mostrado inconformidad por parte de los clientes, indicando que las interrupciones se las realiza en días laborables por lo cual se produce una paralización en la producción.

9. Conoce usted las causas por las cuales usted tiene problemas de servicio eléctrico?

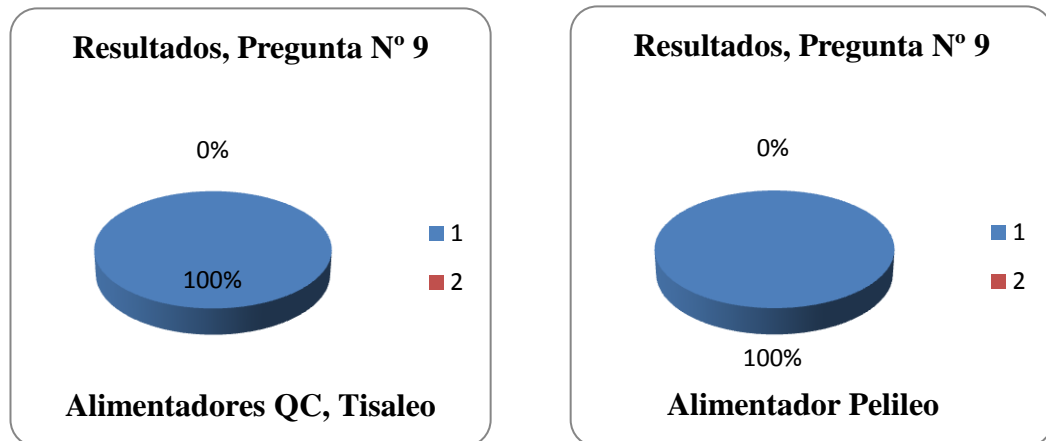
Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA N° 2.10  
PREGUNTA N° 9, VALORACIÓN DE OPCIONES

#	OPCIONES	Quero – Cevallos, Tisaleo		Pelileo	
		VALOR	%	VALOR	%
1	SI	0	0	0	0
2	NO	55	100	50	100
	<b>TOTAL</b>	<b>55</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

FIGURA N° 2.9  
RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 9



Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

### **Análisis e interpretación**

A fin de determinar el nivel de conocimiento en cuanto a las causas por las cuales se producen problemas de servicio eléctrico se ha planteado esta incógnita, de la cual se desprenden los siguientes resultados; el 100% de encuestados de los alimentadores Quero – Cevallos y Tisaleo opinan no conocer los motivos que generan este tipo de fallas, de forma similar sucede con los usuarios del alimentador Pelileo.

10. Desearía usted, que la Empresa Eléctrica Ambato invierta en proyectos que mejoren la calidad de servicio eléctrico?

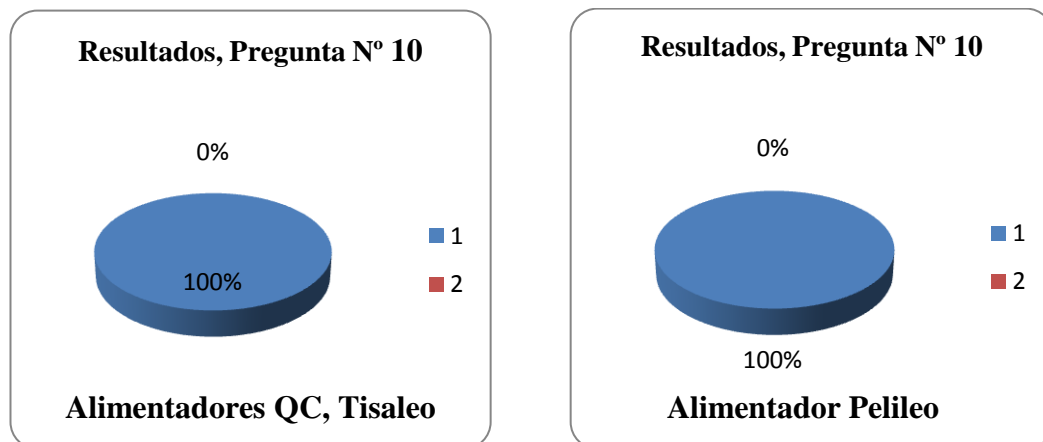
Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA N° 2.11  
PREGUNTA N° 10, VALORACIÓN DE OPCIONES

#	OPCIONES	Quero – Cevallos, Tisaleo		Pelileo	
		VALOR	%	VALOR	%
1	SI	55	100	50	100
2	NO	0	0	0	0
	<b>TOTAL</b>	<b>55</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

FIGURA N° 2.10  
RESULTADOS EN PORCENTAJE, PREGUNTA N° 10



Fuente: Resultados de encuesta  
Realizado por: Grupo de investigadores

## **Análisis e interpretación**

Con el afán de conocer el grado de interés de los usuarios en los nuevos proyectos que realiza la Empresa Eléctrica Ambato se ha propuesto esta pregunta, la misma que muestra los siguientes resultados; tanto en los alimentadores Quero – Cevallos, Tisaleo y Pelileo el 100% de los usuarios muestran su deseo de contar con proyectos eléctricos que mejoren las condiciones del servicio eléctrico y por ende mejore también su calidad de vida.

### **2.4 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Una vez aplicada la técnica de investigación mediante el formulario de encuesta, validando los resultados y analizando detenidamente cada uno de ellos, se puede determinar que la hipótesis:

El incremento de carga en los Cantones Quero, Cevallos, Tisaleo y Pelileo, además de los largos recorridos de los alimentadores primarios hacen necesaria la construcción de la nueva subestación Quero 69-13,8 KV en la Provincia de Tungurahua.

Es factible; los resultados obtenidos de la técnica de encuesta así lo demuestran, evidenciándose la necesidad por parte de los usuarios de contar con una mejor calidad de servicio técnico que garantice el desarrollo normal de las actividades productivas; además el estudio realizado a través del Software “CYMDIST” demuestra las condiciones deficientes del sistema, pues existe elevados porcentajes de caída de voltaje en los extremos más alejados de los alimentadores primarios, las excesivas pérdidas de potencia así como el crecimiento de la demanda en el centro de carga evidencian la necesidad de fortalecer el sistema a través de la construcción de una nueva Subestación que asegure la expansión

adecuada de los circuitos; por este motivo se concluye que es posible la aplicación de este trabajo para el desarrollo del proyecto.

## **CAPÍTULO III**

### **PROPUESTA PARA UBICAR Y JUSTIFICAR LA CONSTRUCCIÓN DE LA SUBESTACIÓN QUERO 69 – 13,8 KV**

### **3.1. PRESENTACIÓN**

Los sistemas de distribución son de gran importancia dentro de un Sistema Eléctrico de Potencia ya que garantizan el servicio de energía eléctrica en forma continua, confiable y eficiente a los consumidores finales.

En la actualidad los sistemas de distribución presentan muchos problemas para poder cumplir con las condiciones de calidad y confiabilidad establecidas por el CONELEC, debido a que es un sistema dinámico y complejo, lo que hace necesaria una planificación técnica adecuada con el fin de evitar problemas de bajos voltajes, altas pérdidas de energía, sobredimensionamiento y, en otros casos, sobrecargas en conductores, transformadores y subestaciones.

La Empresa Eléctrica Ambato S.A.(EEASA), según su proyección de demanda realiza ensayos de variaciones en su sistema de distribución con la ayuda del programa computacional CYMDIST; este software facilita las tareas de planificación y operación de los alimentadores primarios, además es de gran ayuda al momento de evaluar la confiabilidad y configuración óptima de los circuitos.

Usando el análisis computacional se establecerá la mejor condición de operación del sistema, para así brindar las mejores opciones técnicas y económicas en el desarrollo del proyecto.

### **3.2. JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA**

El continuo y acelerado crecimiento de la demanda, crea la necesidad de planificar y evaluar los sistemas de distribución con el afán de determinar las necesidades de

recursos de la red eléctrica para períodos futuros. Tomando en cuenta estas consideraciones se logrará la expansión adecuada de los circuitos de distribución, logrando así garantizar la continuidad y calidad del servicio eléctrico, manteniendo siempre los índices de calidad exigidos por el CONELEC.

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante la modelación de los alimentadores Quero – Cevallos, Tisaleo y Pelileo, en los que se analiza la demanda actual del sistema, la caída de voltaje, los perfiles de potencia y los resultados de las encuestas aplicadas a los usuarios de dichos alimentadores, se establece la necesidad de construir una subestación de poca capacidad, que alivie la carga del sistema y que además mejore los índices de calidad de servicio de la Empresa Eléctrica Ambato.

La construcción de este tipo de proyectos requiere de un estudio previo que justifique la necesidad de desarrollarlos y que además garantice la inversión del capital en una obra necesaria tanto para la Empresa Eléctrica Ambato, como para los usuarios.

### **3.3 OBJETIVOS**

#### **3.3.1 Objetivo General**

Justificar técnica y económicamente la construcción de la Subestación Quero, lo cual permita elevar los índices de calidad de la Empresa Eléctrica Ambato asegurando el servicio eléctrico continuo y confiable a los usuarios.

#### **3.3.2. Objetivos Específicos**

- Desarrollar una propuesta técnica para ubicar óptimamente la nueva Subestación Quero.
- Reconfigurar los alimentadores Quero – Cevallos, Tisaleo y Pelileo de acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio técnico.

- Realizar un análisis económico de los costos estimados que implicaría la construcción de la Subestación Quero.

### **3.4 ALCANCE**

Basados en la distribución y crecimiento de carga del sector, definir las opciones de capacidad instalada, determinar la ubicación de la subestación “Quero” y establecer el número de alimentadores primarios con sus áreas de servicio correspondientes. Configurar la red óptimamente, Delimitar los recorridos de los nuevos alimentadores, balancear la carga, y definir un presupuesto referencial de los costos que implicaría.

### **3.5 DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

En el capítulo I se analiza la situación actual de los alimentadores involucrados en el estudio con la ayuda del software computacional “CYMDIST”. Mediante estos resultados se puede diagnosticar el mal estado del sistema, por lo que es necesario tomar ciertas acciones que mejoren el estado de operación.

Las opciones más complejas para mejorar los niveles de voltaje y disminuir las pérdidas de potencia son las de aumentar el calibre de los conductores, aumentar el número de fases y cambiar los niveles de voltaje de distribución primaria, lo cual implicaría un cambio de equipos, pero estas opciones requieren de una inversión demasiado alta por lo que no son muy convenientes.

La alternativa más efectiva por los largos recorridos de los alimentadores y crecimiento de la demanda es la construcción de una subestación de poca capacidad que permita el crecimiento del sistema; además es necesaria la reconfiguración de alimentadores primarios, es decir realizar cambios en la topología de la red.



La construcción de una nueva subestación de distribución tiene como objetivo mejorar las siguientes condiciones operativas del sistema:

- Calidad de la energía eléctrica que se entrega a los usuarios.
- Confiabilidad del sistema.

Para alcanzar estos objetivos se deben buscar varias opciones de configuración del sistema, y escoger la alternativa más óptima que cumpla con los fines propuestos tomando en cuenta el punto de vista técnico, económico y además la factibilidad de construcción.

Con el estudio realizado en el sitio de trabajo, se puede deducir que por el momento es inadecuado tomar carga desde la subestación Pelileo, esto debido a que se pueden tomar otras acciones para mejorar las condiciones de operación de este alimentador, por ejemplo se puede incrementar la capacidad del transformador de la Subestación Pelileo o también se lo puede realizar mediante una interconexión con el alimentador Totoras ya que su cercanía y fácil acceso disminuyen gastos y facilitan el trabajo.

### **3.5.1 Capacidad de la nueva Subestación Quero**

Para la selección del número de alimentadores y capacidad de la subestación, se utiliza las curvas presentadas en el manual de distribución de la Westinhouse “Electric Utility Reference Book”. En la figura 3.1 se muestra la gráfica de la capacidad de la subestación en función de la densidad de carga y el número de alimentadores. *Ver anexo 2 curvas (densidad de carga por milla cuadrada)*

Las curvas vienen dadas bajo las siguientes condiciones:

- ✓ Troncales con un solo conductor de cobre N° 4/0 AWG.
- ✓ Ramales trifásicos con conductor de cobre N° 4 AWG.

- ✓ Factor de potencia de la carga del 90% en retraso.
- ✓ Se tienen dos opciones de caída de voltaje: 3 o 6%.
- ✓ Cargas homogéneamente distribuidas.

Con esta premisa se deben seguir los siguientes pasos:

1. Se debe escoger la curva adecuada, de acuerdo al voltaje de distribución primaria, en caso de que no exista la curva con el valor de voltaje igual al solicitado, se escogerá el valor más cercano.
2. Para este caso la caída de voltaje en los primarios no deberá exceder el 3%, criterio que sirve también para seleccionar la curva.
3. Calcular la densidad de carga promedio, que corresponde a la densidad de toda el área a analizar.
4. Con los datos anteriores se entra a la curva previamente establecida. La curva muestra el número de alimentadores primarios en función de ñla densidad de carga en KVA/milla<sup>2</sup>, es así que al ubicar el punto entre la densidad de carga y escogiendo un número de alimentadores primarios, la curva nos muestra la capacidad de la subestación.

Otro aspecto muy importante y que se puede visualizar en la figura 3.1 es que al unir los puntos de inflexión de la familia de curvas, se tiene otra curva que define el límite térmico de los alimentadores, esto significa:

- ✓ A la izquierda de la curva.- La densidad de carga es baja, esto significa tener carga más dispersa y por lo tanto se requerirá recorrer distancias más grandes para servir la carga, por lo que en este caso el factor limitante es la caída de voltaje.
- ✓ A la derecha de la curva.- la densidad de carga es alta, esto significa tener carga más cercana entre si y por lo tanto recorrer distancias cortas, por lo

que no existe problemas de caída de voltaje y en este caso el factor limitante es la capacidad del conductor.

El tipo de conductores preestablecidos ya no se usa en la actualidad, debido al desarrollo de nuevas alternativas de menor costo pero de similares características. Entonces lo que se hace es escoger de entre los conductores de aluminio el que tenga las características eléctricas más parecidas al cable de cobre.

**CUADRO N° 3.1**  
**CARACTERÍSTICAS DE CONDUCTORES PARA LAS TRONCALES**

	<b>AWG Circular Mil</b>	<b>Capacidad(A)</b>	<b>Resistencia <math>\Omega</math>/milla 60 Hz y 25°C</b>	<b>Reactancia Inductiva <math>\Omega</math>/milla 60 Hz y 25°C</b>
<b>Cu</b>	4/0	480	0,278	0,497
<b>Al</b>	336400	514	0,279	0,4668

Fuente: Datos conductores Cablec  
Recopilado por: Grupo de investigadores

**CUADRO N° 3.2**  
**CARACTERÍSTICAS DE CONDUCTORES PARA LOS RAMALES**

	<b>AWG</b>	<b>Capacidad (A)</b>	<b>Resistencia <math>\Omega</math>/milla 60 Hz y 25°C</b>	<b>Reactancia Inductiva <math>\Omega</math>/milla 60 Hz y 25°C</b>
<b>Cu</b>	4	180	1,388	0,599
<b>Al</b>	2	180	1,41	0,5739

Fuente: Datos conductores Cablec  
Recopilado por: Grupo de investigadores

Estos valores coinciden aproximadamente con los de la Tabla de equivalencias entre conductores de cobre y aluminio.

### **3.5.1.1 Cálculo de la densidad de carga promedio**

La densidad de carga se puede expresar como la relación entre la carga instalada y el área de la zona del proyecto, para realizar este cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad de carga} = \frac{\text{Carga instalada}}{\text{Área de la zona}} \frac{\text{KVA}}{\text{km}^2} \text{ ó } \frac{\text{kw}}{\text{km}^2}$$

En base al *Anexo 3 Datos actuales de los alimentadores*, se tiene como dato que:

Carga instalada total = Alimentador Tisaleo + Alimentador Quero Cevallos

**Carga instalada total = 12340,5 kVA.**

De acuerdo al *Anexo 4 mapa del sector*, se puede identificar 15 cuadrículas con dimensiones de 1000 x 1000 m cada una, reemplazando estos datos en la fórmula se tiene:

$$\text{Densidad de carga en km} = \frac{12340,5 \text{ kVA}}{137 * 1 * 1 \text{ km}^2} = 90,0766 \frac{\text{KVA}}{\text{km}^2}$$

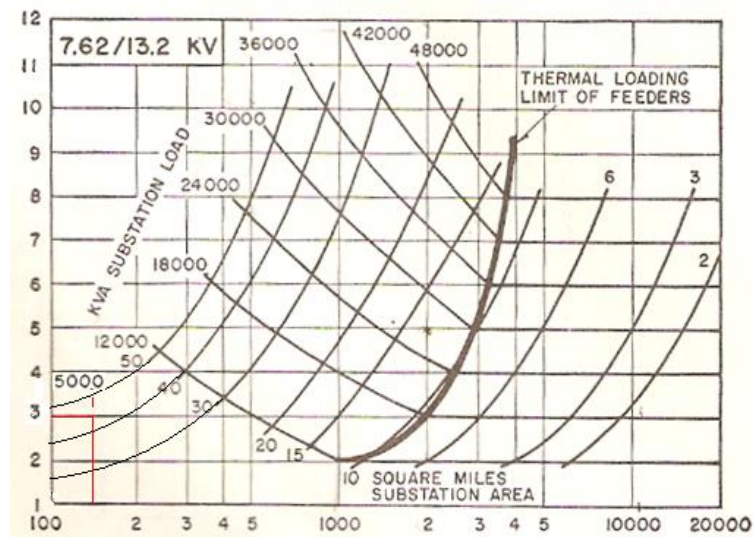
$$\text{Densidad de carga en millas} = 90,0766 \frac{\text{KVA}}{\text{km}^2} * \frac{(1.609 \text{ km})^2}{1 \text{ milla}^2} = 144,933 \frac{\text{kVA}}{\text{milla}^2}$$

### **3.5.1.2 Análisis en la Curva de Densidad de Carga vs kVA por milla cuadrada.**

Al ubicar el valor de densidad de carga en millas en la curva previamente establecida para nivel de voltaje 13,2/7,62 kV y 3% de caída de voltaje, tal como se muestra en la Figura 3.1, el valor de densidad de carga muy bajo, debido a que la carga se encuentra dispersa en un área muy grande dando como resultado que el factor limitante es la caída de voltaje.

El número de alimentadores es escogido de acuerdo a la necesidad, para nuestro caso es necesario contar con tres alimentadores que brinden servicio de manera adecuada.

FIGURA N° 3.1  
DENSIDAD DE CARGA (KVA) POR MILLA CUADRADA



Fuente: Westinghouse. Electric Utility Reference Book  
Recopilado por: Grupo de investigadores

### 3.5.2 Proyección de la Demanda

El pronóstico realista es un factor muy importante en cualquier empresa eléctrica, pero al mismo tiempo es imposible desarrollar pronósticos verdaderamente exactos por el simple hecho de no poder prever el futuro.

La proyección de la demanda es utilizada con el afán de planear los recursos con los que el sistema debe afrontar el futuro, en este caso es utilizada para determinar

el horizonte en el cual será indispensable la construcción de una subestación y la capacidad que ésta deberá tener.

El método aplicado para proyectar la demanda es el método estadístico basado en regresiones y extrapolaciones, esto debido a que se tienen datos históricos de demanda desde el año 2005 hasta la presente fecha; estos antecedentes son obtenidos mediante los medidores instalados en las subestaciones los cuales registran varios datos en intervalos de quince minutos, entre ellos la demanda de la Subestación en general así como de cada uno de los alimentadores.

Una vez obtenidos estos informes se procede a tabularlos y a realizar curvas que luego serán utilizadas para generar líneas de tendencia con las cuales se podrá obtener cifras proyectadas de la demanda hasta el año 2035.

La demanda máxima proyectada es obtenida mediante ecuaciones de tendencia a partir de datos históricos de demanda de la subestación Montalvo y de los alimentadores Quero Cevallos y Tisaleo.

### **3.5.2.1 Subestación Montalvo**

TABLA N° 3.3  
DATOS HISTÓRICOS DE DEMANDA MÁXIMA,  
SUBESTACIÓN MONTALVO

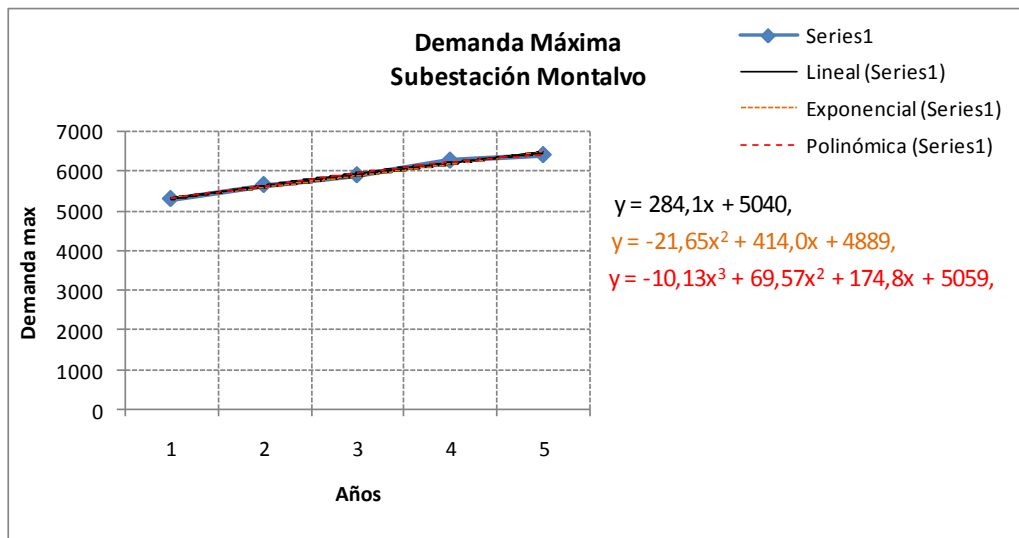
<b>SUBESTACIÓN MONTALVO</b>					
Demanda Máxima (KW)					
Meses	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Enero</b>	5151,60	5106,24	5500,80	5811,84	6286,67
<b>Febrero</b>	5188,32	5261,76	5644,80	5817,60	6294,43
<b>Marzo</b>	5179,68	5395,68	5650,56	5932,80	6296,45
<b>Abril</b>	5203,44	5428,08	5558,40	5996,16	6290,89
<b>Mayo</b>	5285,52	5469,12	5702,40	6232,32	6317,13
<b>Junio</b>	5255,28	5389,20	5696,64	6024,96	6397,89
<b>Julio</b>	5209,92	5287,68	5650,56	5886,72	6363,09
<b>Agosto</b>	5175,36	5346,00	5713,92	5904,00	6381,94
<b>Septiembre</b>	5199,12	5495,04	5765,76	5910,34	
<b>Octubre</b>	5071,68	5639,76	5783,04	5992,80	
<b>Noviembre</b>	5086,80	5419,44	5790,15	6151,30	
<b>Diciembre</b>	5130,00	5523,84	5886,72	6256,76	
<b>D MAX AÑO</b>	<b>5285,52</b>	<b>5639,76</b>	<b>5886,72</b>	<b>6256,76</b>	<b>6397,89</b>

Fuente: Medidores subestación Montalvo  
Realizado por: Grupo de investigadores.

A continuación se muestra la curva obtenida a través de datos históricos así como también las líneas de tendencia y ecuaciones generadas.

FIGURA N° 3.2  
ECUACIONES DE TENDENCIA, SUBESTACIÓN MONTALVO

Años	Nº de Años	Demanda Máx (KW)
2006	2	5639,76
2007	3	5886,72
2008	4	6256,76
2009	5	6397,89



Fuente: Datos históricos, subestación Montalvo  
 Realizado por: Grupo de investigadores.

La ecuación que más se acerca a la realidad es la lineal, pues los datos obtenidos mediante la proyección son acordes a los datos históricos.

Aunque se haya elegido la ecuación lineal para proyectar la demanda, es necesario realizar las demás extrapolaciones utilizando las ecuaciones polinómicas ya que cada una de ellas representa un escenario pesimista u optimista.

Los valores de demanda máxima obtenidos mediante la ecuación de tendencia lineal son los que se detallan a continuación.

TABLA N° 3.4  
 RESULTADOS DE LA PROYECCIÓN DE DEMANDA

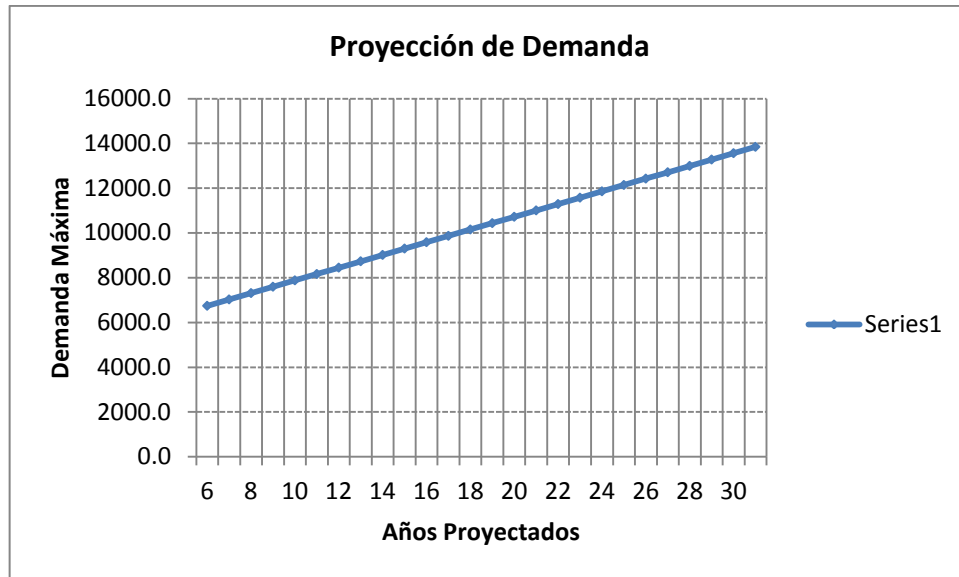
Año	Nº de Año	$y = 284,1x + 5040$
2010	6	6744,6
2011	7	7028,7
2012	8	7312,8
2013	9	7596,9
2014	10	7881,0
2015	11	8165,1



2016	12	8449,2
2017	13	8733,3
2018	14	9017,4
2019	15	9301,5
2020	16	9585,6
2021	17	9869,7
2022	18	10153,8
2023	19	10437,9
2024	20	10722,0
2025	21	11006,1
2026	22	11290,2
2027	23	11574,3
2028	24	11858,4
2029	25	12142,5
2030	26	12426,6
2031	27	12710,7
2032	28	12994,8
2033	29	13278,9
2034	30	13563,0
2035	31	13847,1

Fuente: Personal  
Realizado por: Grupo de investigadores

FIGURA N° 3.3  
PROYECCIÓN DE LA DEMANDA, SUBESTACIÓN MONTALVO



Fuente: Personal  
 Realizado por: Grupo de investigadores.

Observando la figura anterior se puede concluir que para el año 2035 la Subestación Montalvo habrá superado su límite, pues la demanda máxima alcanzaría un valor aproximado de 13847,1 KW. Este es un motivo muy importante por el cual es indispensable la construcción de una nueva subestación, ésta serviría para aliviar carga y distribuir de mejor manera la energía eléctrica.

### 3.5.2.2 Alimentador Quero - Cevallos

El procedimiento para proyectar la demanda en cada uno de los alimentadores involucrados en el estudio es similar al realizado con la Subestación Montalvo. Los datos históricos son una recopilación de la información obtenida mediante los medidores instalados en cada alimentador.

El alimentador Quero – Cevallos muestra de acuerdo a los datos un crecimiento progresivo, éste alcanza un promedio de 6,41% anualmente.

TABLA N° 3.5  
 DATOS HISTÓRICOS DE DEMANDA MÁXIMA,

## ALIMENTADOR QUERO - CEVALLOS

ALIMENTADOR QUERO - CEVALLOS					
Demanda Máxima (KW)					
Meses	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Enero</b>	2.280,96	2.257,92	2.460,96	2.554,56	2876,65
<b>Febrero</b>	2.348,64	2.341,44	2.570,40	2.494,08	2815,76
<b>Marzo</b>	2.309,76	2.433,60	2.551,68	2.640,96	2954,2
<b>Abril</b>	2.322,72	2.407,68	2.460,96	2.681,28	2994,35
<b>Mayo</b>	2.315,80	2.445,12	2.492,64	2.973,60	2990,13
<b>Junio</b>	2.361,60	2.386,08	2.481,12	2.656,80	3013,21
<b>Julio</b>	2.296,80	2.436,48	2.504,16	2.617,92	3015,34
<b>Agosto</b>	2.291,04	2.377,44	2.501,28	2.610,72	3004,54
<b>Septiembre</b>	2.294,60	2.440,80	2.599,20	2.615,13	
<b>Octubre</b>	2.321,56	2.530,08	2.610,72	2.840,60	
<b>Noviembre</b>	2.302,20	2.391,84	2.502,13	2.730,40	
<b>Diciembre</b>	2.305,44	2.440,80	2.568,96	2.981,20	
<b>DMAX AÑO</b>	<b>2.361,60</b>	<b>2.530,08</b>	<b>2.610,72</b>	<b>2.981,20</b>	<b>3015,34</b>

Fuente: Medidores subestación Montalvo

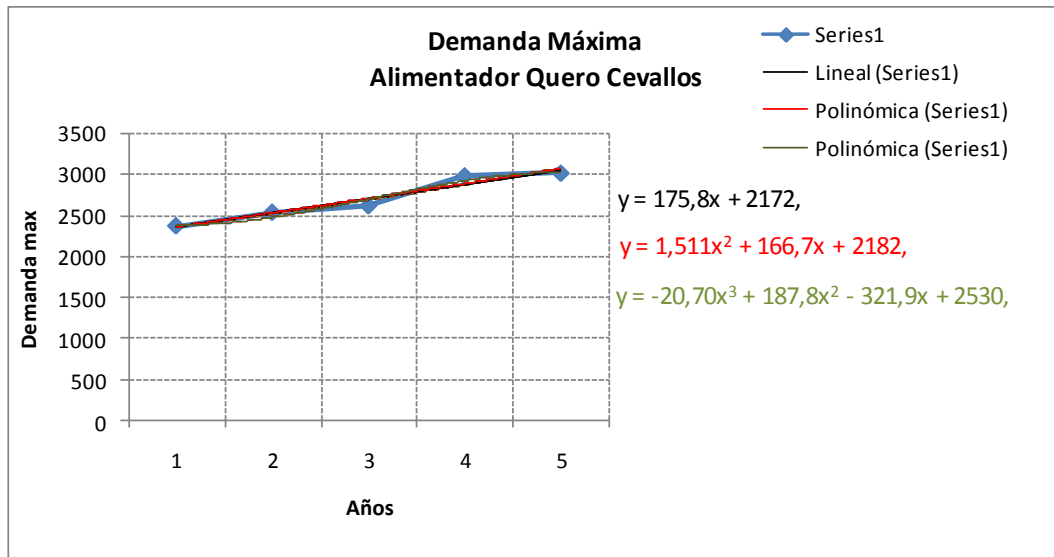
Realizado por: Grupo de investigadores

A continuación se muestra la curva obtenida a través de datos históricos así como también las líneas de tendencia y ecuaciones generadas.

FIGURA N° 3.4

### ECUACIONES DE TENDENCIA, ALIMENTADOR QUERO - CEVALLOS

Años	Nº de Años	Demanda Máx (KW)
2005	1	2361,6
2006	2	2530,08
2007	3	2610,72
2008	4	2981,2
2009	5	3015,34



Fuente: Datos históricos, subestación Montalvo  
 Realizado por: Grupo de investigadores.

Debido a que los datos históricos de demanda presentan un crecimiento lineal, es necesario realizar la proyección utilizando la ecuación con tendencia lineal, los valores obtenidos mediante ésta son más reales y convincentes.

TABLA N° 3.6  
RESULTADOS DE LA PROYECCIÓN DE DEMANDA

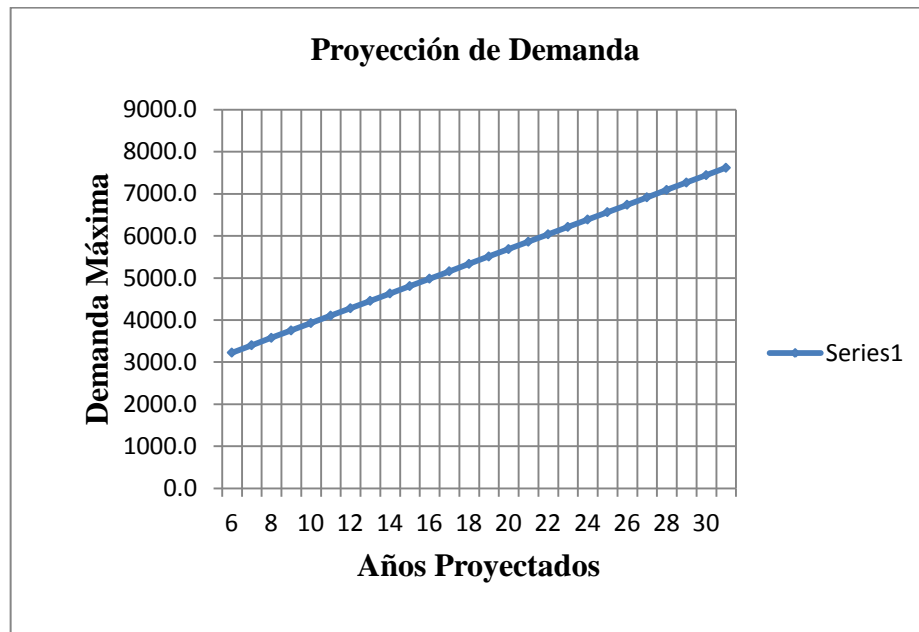
Año	Nº de Año	$y = 175,8x + 2172$
2010	6	3226,8
2011	7	3402,6
2012	8	3578,4
2013	9	3754,2
2014	10	3930,0
2015	11	4105,8
2016	12	4281,6
2017	13	4457,4
2018	14	4633,2
2019	15	4809,0
2020	16	4984,8
2021	17	5160,6
2022	18	5336,4
2023	19	5512,2
2024	20	5688,0
2025	21	5863,8
2026	22	6039,6
2027	23	6215,4
2028	24	6391,2
2029	25	6567,0
2030	26	6742,8
2031	27	6918,6
2032	28	7094,4
2033	29	7270,2
2034	30	7446,0
2035	31	7621,8

Fuente: Personal

Realizado por: Grupo de investigadores

FIGURA N° 3.5

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA, ALIMENTADOR QUERO - CEVALLOS



Fuente: Personal

Realizado por: Grupo de investigadores.

Para el año 2035 el Alimentador Quero – Cevallos alcanzaría una demanda máxima de 7621,8 KW, por ello es necesario el análisis técnico para la reconfiguración de esta red.

### 3.5.2.3 Alimentador Tisaleo

Similar al alimentador Quero – Cevallos, éste también presenta un crecimiento progresivo aunque en el año 2006 la demanda disminuye; de acuerdo a consultas al personal de la EEASA este decrecimiento fue debido a cortes de energía y mantenimiento. El crecimiento de este alimentador se encuentra en un promedio del 2,04 % anual.

Este alimentador no posee medidor, por lo que los datos se deben obtener mediante la diferencia entre los de la Subestación en general y los de los alimentadores Quero Cevallos y Sur.

TABLA N° 3.7  
DATOS HISTÓRICOS DE DEMANDA MÁXIMA,  
ALIMENTADOR TISALEO

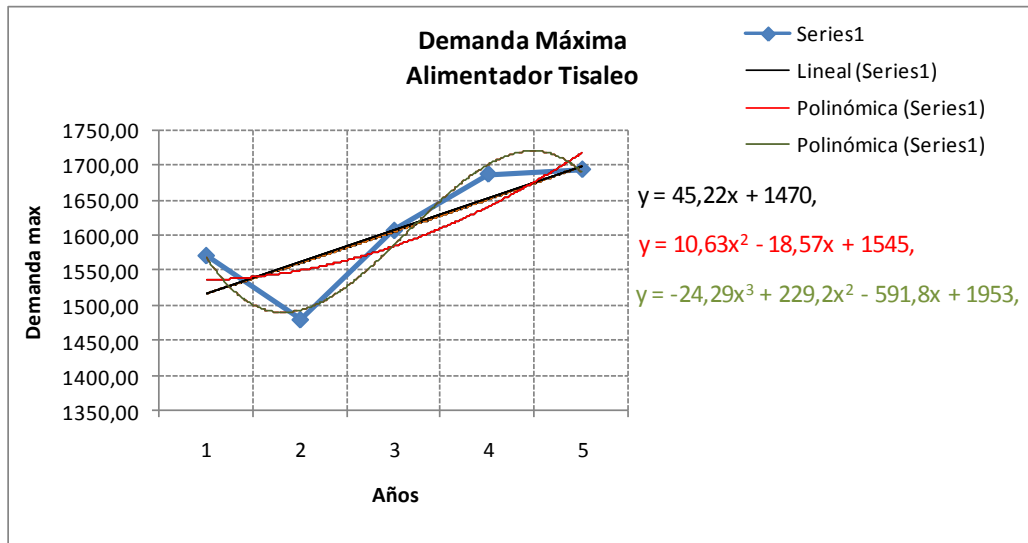
ALIMENTADOR TISALEO					
Demanda Máxima (KW)					
Meses	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Enero</b>	1552,33	1415,52	1372,32	1545,12	1653,89
<b>Febrero</b>	1449,25	1457,28	1386,72	1592,64	1692,53
<b>Marzo</b>	1482,47	1452,96	1499,04	1578,24	1538,1
<b>Abril</b>	1461,59	1437,84	1500,48	1517,76	1483,56
<b>Mayo</b>	1569,92	1404	1571,04	1480,32	1519,84
<b>Junio</b>	1504,34	1416,24	1596,96	1635,84	1571,47
<b>Julio</b>	1500,47	1287,36	1537,92	1520,64	1521,41
<b>Agosto</b>	1474,53	1375,92	1582,56	1565,28	1560,92
<b>Septiembre</b>	1505,98	1478,88	1513,44	1544,98	0
<b>Octubre</b>	1329,99	1432,08	1512	1387,07	0
<b>Noviembre</b>	1360,6	1396,08	1597,82	1685,94	0
<b>Diciembre</b>	1410,89	1474,56	1605,6	1484,7	0
<b>DMAX AÑO</b>	<b>1569,92</b>	<b>1478,88</b>	<b>1605,6</b>	<b>1685,94</b>	<b>1692,53</b>

Fuente: Medidores subestación Montalvo  
Realizado por: Grupo de investigadores

A continuación se muestra la curva obtenida a través de datos históricos así como también las líneas de tendencia y ecuaciones generadas.

FIGURA N° 3.6  
ECUACIONES DE TENDENCIA, ALIMENTADOR TISALEO

Años	N° de Años	Demanda Máx (KW)
2005	1	1569,92
2006	2	1478,88
2007	3	1605,60
2008	4	1685,94
2009	5	1692,53



Fuente: Datos históricos, subestación Montalvo  
 Realizado por: Grupo de investigadores.

El crecimiento de la demanda es progresivo, aunque una parte de la curva presenta un decrecimiento; similar a los casos anteriores se realiza la proyección de la demanda mediante la ecuación lineal.

Los demás valores obtenidos mediante ecuaciones polinómicas crecen aceleradamente o decrecen de forma similar, por esta razón no son útiles en este trabajo.

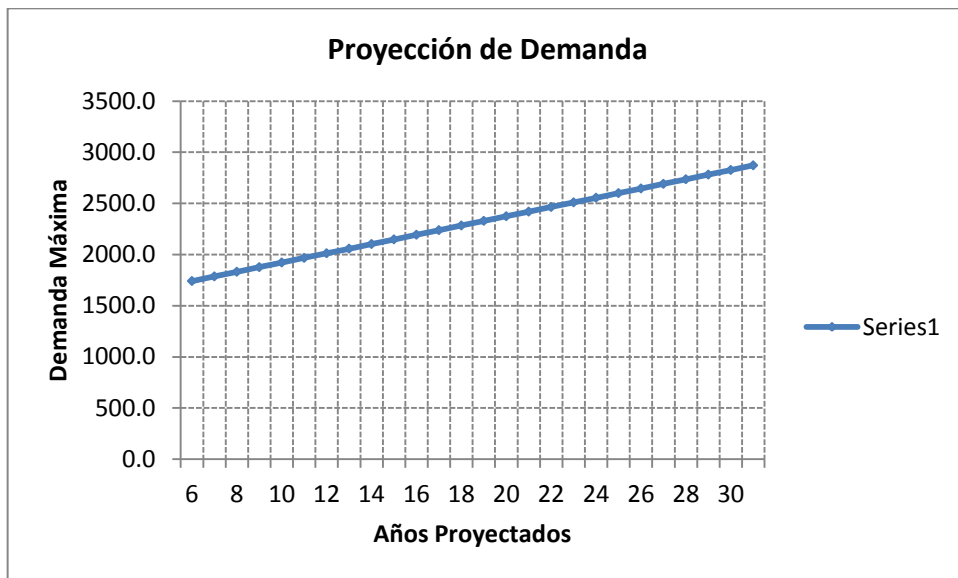


TABLA N° 3.8  
RESULTADOS DE LA PROYECCIÓN DE DEMANDA

Año	Nº de Año	$y = 45,22x + 1470$
2010	6	1741,3
2011	7	1786,5
2012	8	1831,8
2013	9	1877,0
2014	10	1922,2
2015	11	1967,4
2016	12	2012,6
2017	13	2057,9
2018	14	2103,1
2019	15	2148,3
2020	16	2193,5
2021	17	2238,7
2022	18	2284,0
2023	19	2329,2
2024	20	2374,4
2025	21	2419,6
2026	22	2464,8
2027	23	2510,1
2028	24	2555,3
2029	25	2600,5
2030	26	2645,7
2031	27	2690,9
2032	28	2736,2
2033	29	2781,4
2034	30	2826,6
2035	31	2871,8

Fuente: Personal  
Realizado por: Grupo de investigadores

FIGURA N° 3.7  
PROYECCIÓN DE LA DEMANDA, ALIMENTADOR TISALEO



Fuente: Personal  
Realizado por: Grupo de investigadores.

Este alimentador no muestra un crecimiento acelerado pero necesariamente debe ser incluido en la reconfiguración de los alimentadores pues se encuentra muy cercano al alimentador Quero – Cevallos y de esta manera será muy fácil tomar carga de éste.

### 3.5.3 Reconfiguración de los alimentadores

#### 3.5.3.1 Procedimiento

1. Se realiza un estudio de densidad de carga por capacidad instalada, esto con el fin de identificar el centro de carga de la demanda y consecuentemente el sitio donde se debería construir la nueva subestación.
  - ✓ Como se observa en el *anexo 5* el centro de carga (*círculo*), se sitúa principalmente entre los Cantones Quero y Cevallos y la vía a Pelileo, por lo tanto la ubicación tentativa para la nueva Subestación es el sector de Quero, San Vicente.

- ✓ La ubicación de la subestación se la realiza tomando en cuenta aspectos como la demanda total y la concentración de carga.
2. Se procede a ejecutar los cambios necesarios tanto en las líneas de transmisión como en los alimentadores de la subestación Montalvo, esto con el objetivo de mejorar la operación.
    - ✓ Se provee de energía a la nueva Subestación Quero desde la Subestación Montalvo mediante una línea de subtransmisión de 69 KV a una distancia aproximada de 7,6 Km.
    - ✓ Se plantea diferentes rutas de servicio, seccionamientos de carga en diferentes puntos, transferencias de carga entre alimentadores, aumento de fases y balance de cargas.
    - ✓ Se aumenta el calibre de conductores, especialmente en las troncales principales.
    - ✓ En algunos sitios se construye tramos trifásicos de línea.
  3. Se corre flujos de potencia balanceados para tener una idea de cómo quedan los alimentadores después de realizar la reconfiguración.
  4. Se analiza y se escoge la mejor alternativa de las propuestas con el fin de obtener los mejores resultados, luego se compara con el estado inicial del sistema y de ésta manera se puede concluir si existe o no mejoría.

#### **3.5.4 Modelación de la Red**

La reconfiguración de alimentadores primarios se refiere a alterar la topología de la red, por cambios en condiciones de apertura y enlace de circuitos mediante seccionadores o switches con el objetivo de mejorar ciertos parámetros de operación como caídas de voltaje, pérdidas de potencia y energía, cargabilidad en conductores

que tienen una incidencia directa en la confiabilidad, continuidad y calidad de servicio.

La modelación de los nuevos alimentadores se lo realiza mediante una simulación de planeamiento del sistema, una vez identificado el sitio en donde se ubicará la nueva subestación se procede a reconfigurar cada uno de los alimentadores de tal forma que se obtenga la mejor configuración y por tanto los mejores parámetros técnicos.

La demanda máxima asignada a cada uno de los nuevos alimentadores corresponde a un 62,17% de la demanda total de los alimentadores Quero – Cevallos y Tisaleo. Este porcentaje está en función de la capacidad instalada y de la topología de la red. Además cabe señalar que los valores ingresados son el resultado de la proyección de la demanda en un horizonte de 25 años con un crecimiento promedio del 4% anual.

En la tabla 3.9 se muestra los datos de demanda máxima asignados a los nuevos alimentadores.

TABLA N° 3.9  
DEMANDA MÁXIMA DE LOS NUEVOS ALIMENTADORES

Alimentador	Demanda Máxima		Carga Conectada
	KW	Fp %	KVA
Quero Cevallos	690,26	97	1798
Tisaleo	1059,04	97	2976
Quero 1	819,38	97	2306
Quero 2	736,18	97	2183
Quero 3	729,98	97	2248

Fuente: Proyección de demanda máxima  
Realizado por: Grupo de investigadores

### 3.5.4.1 Alimentador Quero – Cevallos

En lo que se refiere a este alimentador, se realizó una apertura de circuito en el poste 125751 ubicado entre los cantones Cevallos y Quero, se queda aproximadamente con el 38% de la carga que manejaba al principio, en el *anexo 6* se muestra la nueva área de servicio de este alimentador.

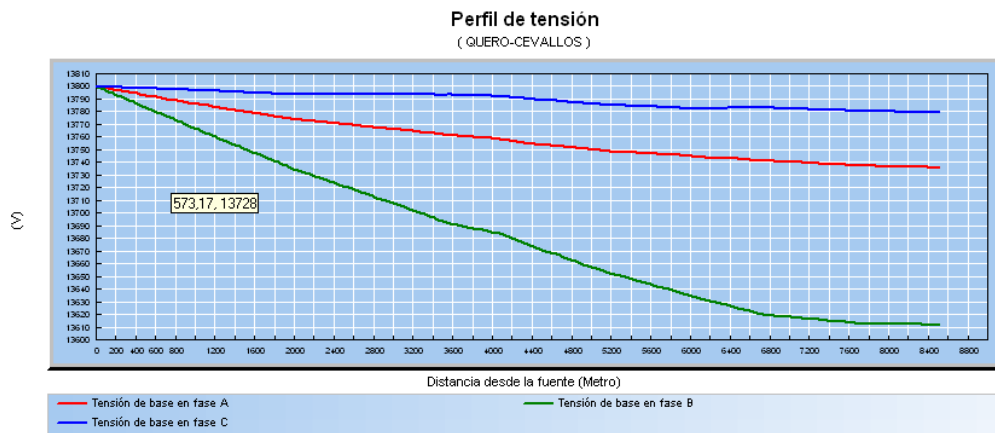
#### Perfil de Voltaje

La máxima caída de voltaje de este alimentador fue de 2.56%. Estos valores cumplen perfectamente con los límites establecidos por las normas para el límite de caída de voltaje permitido. El resultado de éste análisis se muestra en la Figura 3.8.

#### Pérdidas Técnicas

Tiene pérdidas de potencia activa de 8,37 KW que representan el 0,84% y 7,65 KVAR de potencia reactiva que son el 3,07%, del total. Las pérdidas de energía total son de 56721,13 KW-h al año.

FIGURA N° 3.8  
PERFIL DE VOLTAJE ALIMENTADOR QUERO -CEVALLOS



Fuente: Personal

Realizado por: Grupo de investigadores.

### 3.5.4.2 Alimentador Tisaleo

Para este alimentador, se realiza una apertura de circuito en el nodo 160159 con lo que se reduce la carga en un 50% aproximadamente, aliviando la demanda de la subestación Montalvo; en el *anexo 7* se muestra la nueva área de servicio de este alimentador.

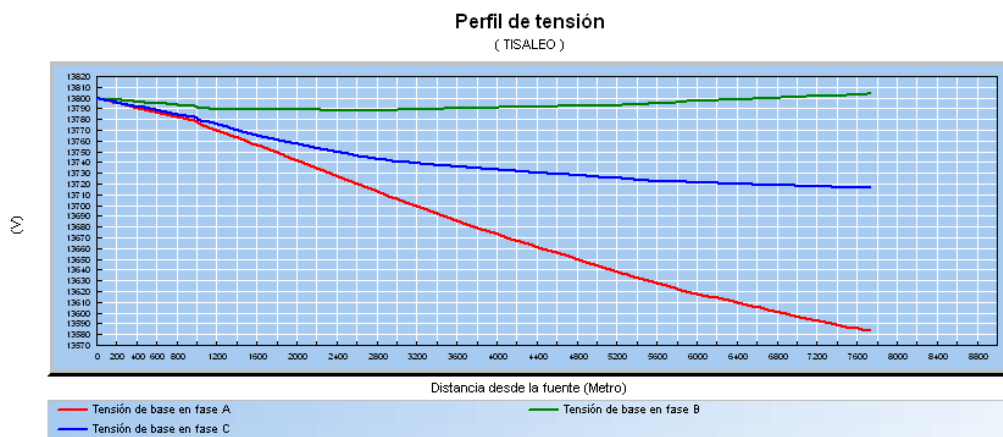
#### Perfil de Voltaje

La máxima caída de voltaje de este alimentador fue de 0,72%. Estos valores cumplen perfectamente con los límites establecidos por las normas para el límite de caída de voltaje permitido. El resultado de éste análisis se muestra en la Figura 3.9.

#### Pérdidas Técnicas

Tiene pérdidas de potencia activa de 3.03 KW que representan el 0,44% y 3,37 KVAR de potencia reactiva que son el 1,97%, del total. Las pérdidas de energía total son de 26499,58 KW-h al año.

FIGURA N° 3.9  
PERFIL DE VOLTAJE ALIMENTADOR TISALEO



Fuente: Personal

Realizado por: Grupo de investigadores.

### 3.5.4.3 Alimentador Quero 1

Se agrega fases y se cambia el calibre del conductor de 2 ACSR 2N a 2/0 ACSR 1/0 N entre los tramos 665 y 693, se toma carga del alimentador Tisaleo en el nodo N° 179288; finalmente se abre el alimentador Quero – Cevallos en los nodos 34 y 3599.

De las simulaciones se observa una reducción satisfactoria en las pérdidas y se cumple con los límites de voltaje permitidos por norma. Su nueva configuración se muestra en el *anexo 8*.

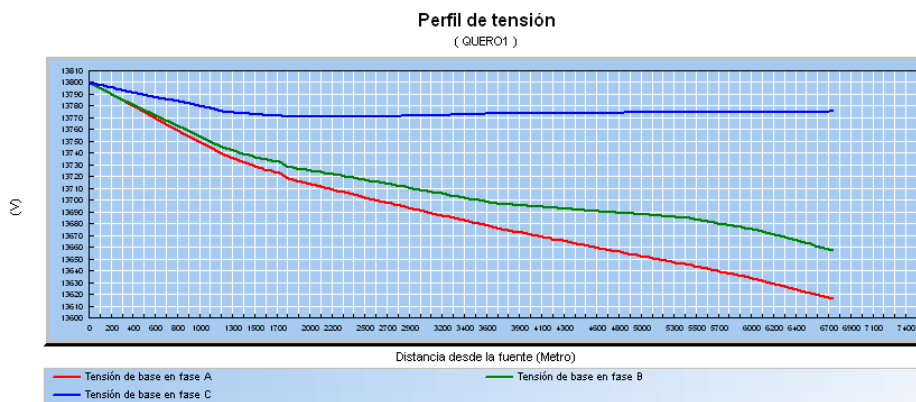
#### Perfil de Voltaje

La máxima caída de voltaje de este alimentador fue de 2.17%. Estos valores cumplen perfectamente con los límites establecidos por las normas para el límite de caída de voltaje permitido. El resultado de éste análisis se muestra en la Figura 3.10.

#### Pérdidas Técnicas

Tiene pérdidas de potencia activa de 5,64 KW que representan el 0,64% y 4,45KVAR de potencia reactiva que son el 2.02%, del total. Las pérdidas de energía total son de 49367,93 KW-h al año.

FIGURA N° 3.10  
PERFIL DE VOLTAJE ALIMENTADOR QUERO 1



Fuente: Personal

Realizado por: Grupo de investigadores.

#### **3.5.4.4 Alimentador Quero 2**

Se agrega fases y se cambia el calibre del conductor de 4 ACSR 4N a 2/0 ACSR 2 N entre los tramos 48196 y 121693, se toma carga del alimentador Tisaleo uniendo los nodos 51548 y 45631; se abre el alimentador Tisaleo en los nodos 172802 y 160158. Con el fin de balancear las fases, se cambia de la fase B a la fase A toda la carga comprendida entre los nodos 183339 y 3343; de forma similar se procede a cambiar de la fase B a la fase C toda la carga comprendida entre los nodos 3672 y 184106

De las simulaciones se observa una reducción satisfactoria en las pérdidas y se cumple con los límites de voltaje permitidos por norma. Su nueva configuración se muestra en el *anexo 9*.

##### **Perfil de Voltaje**

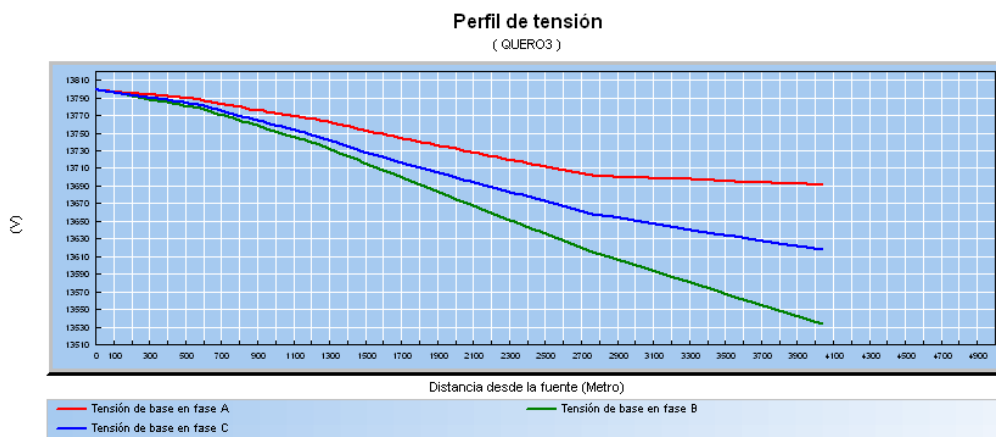
La máxima caída de voltaje de este alimentador fue de 2.4%. Estos valores cumplen perfectamente con los límites establecidos por las normas para el límite de caída de voltaje permitido. El resultado de éste análisis se muestra en la Figura 3.11.

##### **Pérdidas Técnicas**

Tiene pérdidas de potencia activa de 8,96 KW que representan el 1,45% y 8,87 KVAR de potencia reactiva que son el 4,71%, del total. Las pérdidas de energía total son de 89423,67 KW-h al año.



FIGURA N° 3.11  
 PERFIL DE VOLTAJE ALIMENTADOR QUERO 2



Fuente: Personal  
 Realizado por: Grupo de investigadores.

### 3.5.4.5 Alimentador Quero 3

Se agrega fases y se cambia el calibre del conductor de 4 ACSR 4N a 4/0 ACSR 2 N entre los tramos 48206 y 49507; se incrementan los tramos 3647, 3648 y 3649 con una distancia de 156 metros; finalmente se abre el alimentador Quero - Cevallos en los nodos 49181 y 48199.

De las simulaciones se observa una reducción satisfactoria en las pérdidas y se cumple con los límites de voltaje permitidos por norma. Su nueva configuración se muestra en el *anexo 10*.

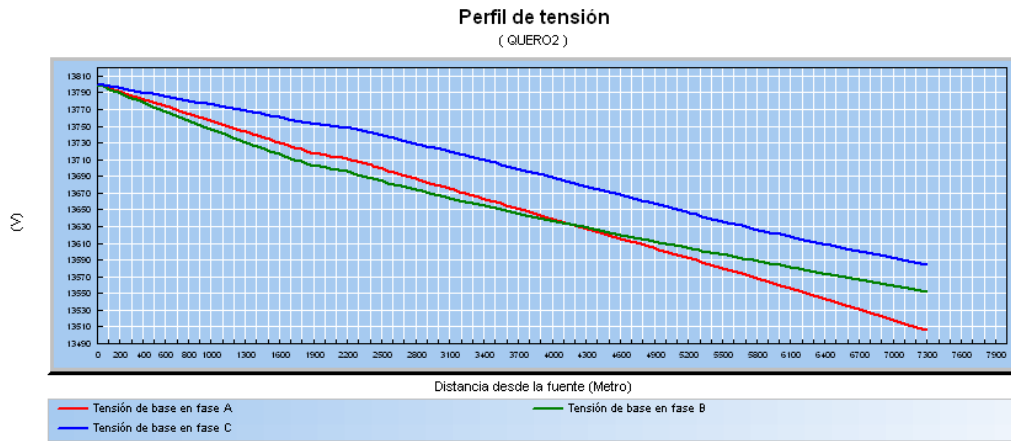
#### Perfil de Voltaje

La máxima caída de voltaje de este alimentador fue de 3,15%. Estos valores cumplen perfectamente con los límites establecidos por las normas para el límite de caída de voltaje permitido. El resultado de éste análisis se muestra en la Figura 3.12.

### Pérdidas Técnicas

Tiene pérdidas de potencia activa de 11,08 KW que representan el 1,43% y 9,34 KVAR de potencia reactiva que son el 4,86%, del total. Las pérdidas de energía total son de 97612,76 KW-h al año.

FIGURA N° 3.12  
PERFIL DE VOLTAJE ALIMENTADOR QUERO 3



Fuente: Personal  
Realizado por: Grupo de investigadores.

Los resultados del flujo de potencia de la alternativa que se escogió, son los que se muestran en el *anexo 11*.

En la tabla 3.10 se presenta una comparación entre la situación actual de los alimentadores y los resultados obtenidos con la reconfiguración del sistema. Los principales parámetros que se toman en cuenta son la máxima caída de voltaje y las pérdidas de potencia.

TABLA N° 3.10

RESULTADOS DE LA RECONFIGURACIÓN DE LOS ALIMENTADORES

Alimentador	Inicial		Reconfigurado	
	Caída Máx de Voltaje %	Pérdidas (KW)	Caída Máx de Voltaje %	Pérdidas (KW)
Quero Cevallos	13,77	109,09	2,56	8,37
Tisaleo	7,1	39,43	0,72	3,03
Quero 1			2,17	5,64
Quero 2			2,4	8,96
Quero 3			3,15	11,08
<b>TOTAL</b>		<b>148,52</b>		<b>37,08</b>

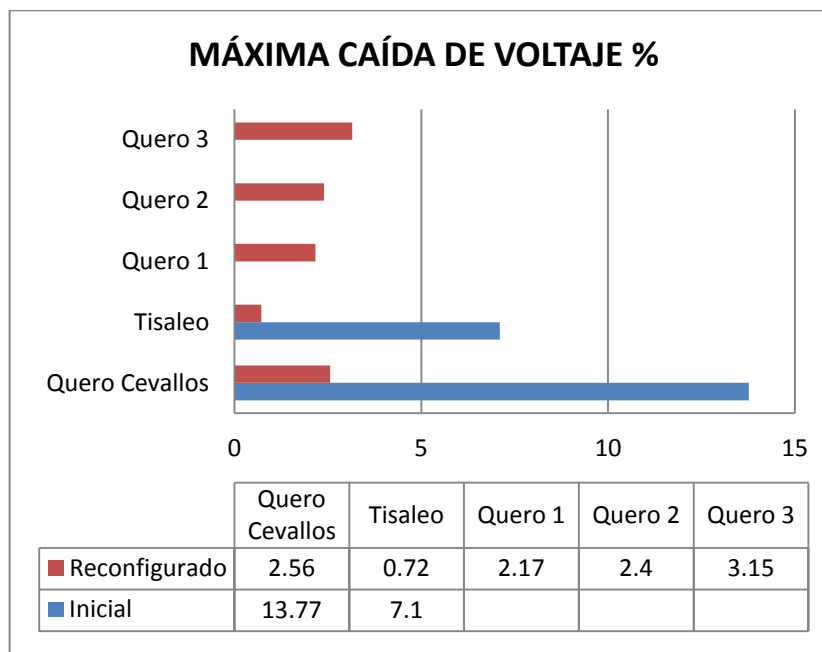
Fuente: Resultados Cymdist

Realizado por: Grupo de investigadores

De acuerdo a las figuras 3.13 y 3.14 se pueden apreciar gráficamente la disminución significativa de pérdidas de potencia y caídas de voltaje en cada uno de los alimentadores.

FIGURA N° 3.13

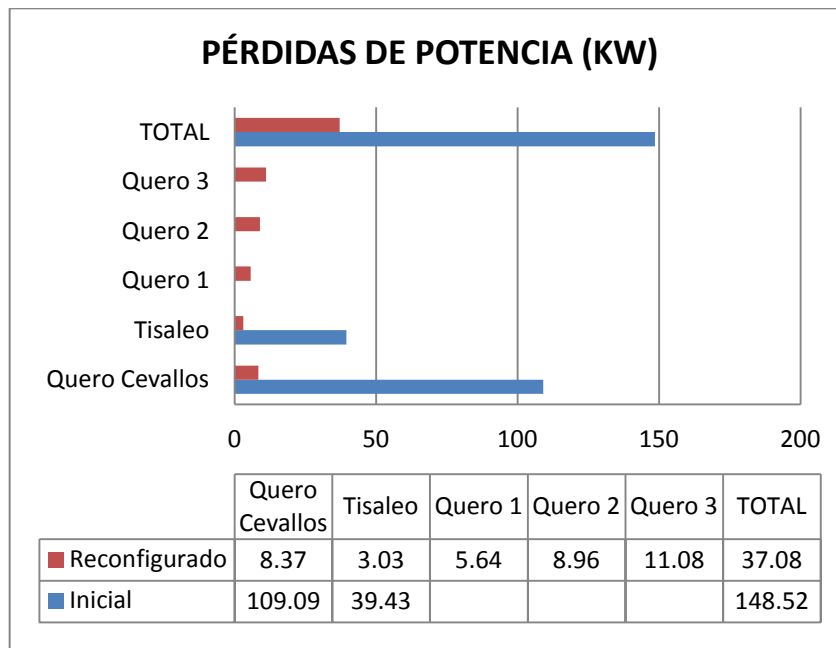
MÁXIMA CAÍDA DE VOLTAJE EN LOS ALIMENTADORES



Fuente: Personal

Realizado por: Grupo de investigadores.

FIGURA N° 3.14  
PÉRDIDAS DE POTENCIA EN LOS ALIMENTADORES



Fuente: Personal  
Realizado por: Grupo de investigadores.

Con lo que respecta a las pérdidas totales de energía se redujeron en un 25,54% del total que se tenía en un principio, este ahorro de energía representa 79807,67 KW-h cada mes; el detalle de estos valores se muestra en la tabla N° 3.11.

TABLA N° 3.11  
REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA

FLUJOS DE POTENCIA BALANCEADOS		
ALIMENTADORES	Estado Inicial (KWh/año)	Estado Final (KWh/año)
Quero - Cevallos	940757,63	56721,13
Tisaleo	345410,19	26499,58
Quero 1		49367,93
Quero 2		89423,67
Quero 3		97612,76
<b>TOTAL</b>	<b>1286167,82</b>	<b>319625,07</b>
<b>AHORRO</b>	<b>966542,75</b>	
<b>REDUCCIÓN</b>	24,85%	

Fuente: Resultados Cymdist  
Realizado por: Grupo de investigadores

### **3.5.5 Descripción de la Subestación Quero**

#### **3.5.5.1 Patio de 69 KV**

Para la alimentación de la nueva Subestación Quero se tomará energía desde la Subestación Montalvo ubicada a una distancia aproximada de 7,6Km, el calibre del conductor es 266 MCM con capacidad de 460 A.

Esta línea llega a un pórtico, el cuál consta de cuatro postes de hormigón de 11 m. 500 Kg. En un área de 2.80 x 1.50 m. Seccionador tripolar barra a 69 KV. Estructura CR para 69 KV, todo este pórtico precedido por tres estructuras que soportan los pararrayos, uno por estructura, para protección contra sobre voltajes de tipo atmosférico.

Desde el pórtico la línea continúa hacia el interruptor en SF6, en total tres, 1/F. soportados por una estructura metálica, con su sistema de control.

A 3.5 m. por el lado de AT, está el transformador 5/6.25 MVA, AT 69 KV, +/- 2x2.5%; BT 13.8 KV Dyn1, 60 Hz, de aceite dieléctrico; tipo de refrigeración ONAN/ONAF; para altura de operación de 3000 msnm. El transformador esta como reductor de 69/13.8 KV.

En el *anexo 12* se muestra el diagrama unifilar y la implantación de equipos de toda la subestación.

#### **3.5.5.2 Patio de 13,8 KV**

Desde el lado de baja tensión está el interruptor a  $V_n=15.5$  KV;  $I_n=1200$  A, cabe recalcar que a este interruptor se encuentran acoplados los relés de sobre corriente, de frecuencia; con los relés diferenciales hay que tener en cuenta que son empleados con transformadores cuya potencia es mayor a 5 MVA, para potencias menores no se emplea en la construcción; los relés de sobre corriente y frecuencia

también comandan al interruptor en SF6, para proteger al transformador tanto por el lado de AT y BT.

Desde este interruptor está la estructura de salida a 13.8 KV la cuál posee 2 postes de hormigón de 12.5 m. 575 Kg. 3 seccionadores unipolares sin tira fusible 15.5 KV. 600 A. 3 pararrayos a 10 KV. c/u; una estructura CP, una CR y una CR2, sistema de medida a 13.8 KV con TP, TC, KWH; tablero general de control protección AC/DC. Tablero de medición servicios generales. El control se lo podrá realizar mediante radiofrecuencia por medio del software SCADA.

### **3.5.5.3 Sistema de puesta a tierra**

Toda la Subestación tiene un Sistema de Puesta a Tierra que cubre un área de 24 x 15 m. con conductor 2/0 de cobre desnudo en divisiones de 4 m. a lo largo y 5 m. a lo ancho, con 13 varillas, las líneas están protegidas por dos conductores paralelos de acero colocados en la parte más alta de las estructuras, conocidos como hilos de guardia.

En la tabla 3.12 se presentan los datos para el desarrollo del sistema de tierras de la Subestación Quero.

TABLA N° 3.12  
DATOS PARA EL DISEÑO DE PUESTA A TIERRA

<b>DISEÑO PUESTA A TIERRA</b>		
<b>DATOS</b>		
ANCHO	15	metros
LONGITUD	24	metros
RESISTIVIDAD EQUIVALENTE	100	ohmios metro
REISISTIVIDAD SUPERFICIAL	900	ohmios metro
CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO	4267	A
TIEMPO DE DURACION DE CORTO CIRCUITO	0,2	seg
NUMERO DE CONDUCTORES PARALELOS (ANCHO)	4	
NUMERO DE CONDUCTORES PARALELOS (LARGO)	7	
TEMPERATURA AMBIENTE	30	°C
PROFUNDIDAD DE ENTERRAMIENTO DEL CONDUCTOR	0,5	metros
NUMERO DE VARILLAS	13	

Fuente: Depto. Diseño y Construcción, Sección Subtransmisión EEASA.

Realizado por: Grupo de investigadores

En el *anexo 13* se muestra el cálculo detallado de los parámetros considerados para obtener un sistema de tierra seguro y confiable.

Los resultados generados se presentan en la tabla 3.13.

TABLA N° 3.13  
RESULTADOS DEL CÁLCULO DE TIERRAS

<b>RESULTADOS</b>		
RESISTENCIA DE LA MALLA	2,7661	ohmios
ESPACIAMIENTO	4,0000	metros
Km	0,5433	
Ki	2	
LONGITUD TOTAL DEL CONDUCTOR	232	metros
LONGITUD DE SEGURIDAD EQUIVALENTE	1.559	metros
LONGITUD DE SEGURIDAD SUPERFICIAL	771	metros
VOLATAJE DE MALLA	1.997	voltios
VOLTAJE DE PASO	1.854	voltios
VOLTAJE PASO/TIERRA	416	voltios
VOLTAJE PASO/SUPERFICIE	1.668	voltios
VOLTAJE CONTACTO/TIERRA	297	voltios
VOLTAJE CONTACTO/SUPERFICIE	602	voltios
CALIBRE MINIMA DEL CONDUCUTOR	6	AWG
ESPACIAMINETO LARGO	4,0	metros
ESPACIAMIENTO ANCHO	5,0	metros

Fuente: Personal

Realizado por: Grupo de investigadores

### LA MALLA DE TIERRA ES SEGURA

$$\begin{aligned}
 V_{\text{malla}} &< V_{\text{contacto/tierra}} && \mathbf{1.997} < \mathbf{297} \\
 L_{\text{seguridad}} &< L_{\text{malla}} && \mathbf{1.559} < \mathbf{232} \\
 L_{\text{seguridad/superficie}} &< L_{\text{malla}} && \mathbf{771} < \mathbf{232} \\
 E_{\text{paso}} &< E_{\text{paso/tierra}} && \mathbf{1.854} < \mathbf{416}
 \end{aligned}$$

$$\text{RESISTENCIA} \quad \mathbf{2,766}$$

#### 3.5.6 Análisis Económico

El análisis financiero forma parte de los diferentes tipos de evaluaciones necesarias que se deben realizar antes de comprometer recursos en un proyecto.

La evaluación financiera de un proyecto es importante porque permite seleccionar la mejor alternativa para solucionar un problema, satisfacer una necesidad o



aprovechar una oportunidad que el mercado ofrece, de esta manera se optimiza los recursos disponibles.

Los costos considerados para el presente análisis corresponden, a los requeridos para la readecuación topológica de las redes de subtransmisión y alimentadores primarios. Dichos costos contemplan: materiales y mano de obra.

La finalidad de la Empresa Eléctrica Ambato no es de obtener beneficios económicos directos de este proyecto, sino más bien brindar al usuario servicio eléctrico de calidad y además cumplir con las normas y reglamentos establecidos por los entes reguladores.

En la tabla 3.14 se realiza un cálculo generalizado de los costos referenciales de la subestación Quero en base a datos proporcionados por el departamento de Diseño y Construcción, sección Subtransmisión de la EEASA.

TABLA N° 3.14  
PRESUPUESTO REFERENCIAL SUBESTACIÓN QUERO

Descripción	C/ unidad (USD)	Total (USD)
Línea de Subtransmisión 69 KV (7,6Km)	50000	380000
Obras Civiles		100000
Transformador ABB 5/6.25 MVA, AT 69 KV, +/- 2x2.5%; BT 13.8 KV Dyn1, 60 Hz.	250000	250000
Tableros de control	60000	60000
Malla a Tierra	10000	10000
Terrenos	5000	5000
Accesorios	50000	50000
Reconfiguración alimentadores primarios		99169,30
	<b>TOTAL</b>	<b>954169,30</b>

Fuente: dpto. Subestaciones EEASA.

Realizado por: Grupo de investigadores

En el *anexo 14* se muestra el detalle de los costos de reconfiguración de los alimentadores primarios de la nueva Subestación Quero.

### 3.5.6.1. Ahorro por pérdidas de energía

- ✓ El ahorro de energía por concepto de reducción de pérdidas es de 80545,23 KWh/mes como se indicó en la tabla 3.11.

El valor promedio para la energía comprada proyectada para este año es de 6 ctv. USD/KWh.

Por lo tanto, el ahorro mensual sería:

$$\mathbf{Ahorro} = 0,06 \frac{\mathbf{USD}}{\mathbf{KWh}} * 80545,23 \frac{\mathbf{KWh}}{\mathbf{mes}} = \mathbf{4832,71} \frac{\mathbf{USD}}{\mathbf{mes}}$$

De acuerdo a este cálculo obtendríamos un ahorro promedio anual de **57992,52 USD/año**

### 3.5.7 Análisis de los resultados

De acuerdo a la modelación digital, a los resultados obtenidos y a los costos que esto implicaría, se puede señalar los siguientes beneficios para los próximos años.

- ✓ El sistema podrá cubrir la demanda prevista al año 2035, bajo condiciones de operación normal. En operación emergente la transferencia de carga se la realizará mediante los dispositivos de seccionamiento y no podrá ser mayor al 15% para cualquier alimentador.
- ✓ La caída máxima de voltaje no supera el nivel recomendado del 5% para primarios rurales, garantizando llegar hasta el consumidor final de baja tensión con una caída no superior a las establecidas por las guías de diseño

de la EEASA. El valor máximo que se espera tener de caída de tensión es del 3,15% en un horizonte de 25 años.

- ✓ La reducción de pérdidas de energía son muy alentadoras pues se lograría mediante la nueva configuración del sistema, reducir en un 24,85% su valor actual.
- ✓ A pesar de no significar ingresos económicos para la Empresa Eléctrica Ambato, el proyecto es muy beneficioso para mejorar la calidad de servicio eléctrico y para incrementar la confiabilidad del sistema.
- ✓ Luego de realizar la reconfiguración del sistema se destaca una gran mejoría en todos los alimentadores, por lo que el sistema de distribución puede expandirse sin presentar ningún problema.