



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS TÉCNICO DEL SISTEMA
ELÉCTRICO ENTRE LA EMPRESA ELÉCTRICA
PROVINCIAL COTOPAXI ELEPCO S.A. Y LA CONEXIÓN CON
EL PUNTO FRONTERA DEL SISTEMA NACIONAL
INTERCONECTADO AMBATO PARA MEJORAR LAS
CONDICIONES DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

AUTORES: NANCY ELIZABETH CHAQUINGA BONIFA

CARLOS DANILO MISE GUANOLUISA

TUTOR: ING. IBETH DELGADO

LATACUNGA

2016



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS TÉCNICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO ENTRE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI ELEPCO S.A. Y LA CONEXIÓN CON EL PUNTO FRONTERA DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO AMBATO PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA”**, realizado por la señora **NANCY ELIZABETH CHAQUINGA BONIFA** y el señor **CARLOS DANILO MISE GUANOLUISA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnico, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señora **NANCY ELIZABETH CHAQUINGA BONIFA** y el señor **CARLOS DANILO MISE GUANOLUISA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, septiembre 29 del 2016


.....
Ing. Ibeth Delgado
DIRECTORA



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **NANCY ELIZABETH CHAQUINGA BONIFA**, con cédula de identidad N° 050214166-6 y **CARLOS DANILO MISE GUANOLUISA**, con cédula de identidad N° 0502858699, declaramos que el trabajo de titulación “**DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS TÉCNICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO ENTRE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI ELEPCO S.A. Y LA CONEXIÓN CON EL PUNTO FRONTERA DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO AMBATO PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA**”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, septiembre 29 del 2016

Nancy Elizabeth Chaquinga Bonifa

C.C.:0502141666

Carlos Danilo Mise Guanoluisa

C.C.:0502858699



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **NANCY ELIZABETH CHAQUINGA BONIFA** y **CARLOS DANILO MISE GUANOLUISA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE publicar en el repositorio institución del trabajo titulado: **“DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS TÉCNICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO ENTRE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI ELEPCO S.A. Y LA CONEXIÓN CON EL PUNTO FRONTERA DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO AMBATO PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, septiembre 29 del 2016

Nancy Elizabeth Chaquina Bonifa

C.C.:0502141666

Carlos Danilo Mise Guanoluisa

C.C.:0502858699

DEDICATORIA

Al Dios, que me ha enseñado que después de la tormenta siempre vendrá la calma, que después de tantos esfuerzos y sacrificios llegará la recompensa.

Al mis padres de manera en especial a mi madre que siempre ha hecho lo posible para que me pueda formar profesionalmente, que siempre me apoyado, ayudado y enseñado muchas cosas que me han servido de mucho, gracias y mil gracias madre por todo ese apoyo incondicional que me has brindado en las buenas y en las malas, en las tristezas y alegrías. Aunque muchas veces enojadas, pero ahí has estado dándome la mano y ánimo para seguir adelante.

Y principalmente va dedicada a mis princesas Arellys y Shyglá que llegaron a complementar mi vida a enseñarme que nada es imposible con dedicación y esfuerzo todo es posible.

Al mi esposo Luis Quispe que desde que inicié en esta institución has estado a mi lado.

Al mis profesores que me enseñaron muchas cosas primordiales que me servirán de mucho en mi vida profesional.

NANCY

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme un día más de vida y por todos los obstáculos que se me presentaron en mi camino y los pude superar con los que aprendí que nunca hay que rendirse y seguir adelante.

A mis padres por todo el sacrificio que han hecho para poderme dar siempre lo mejor en especial a mi madre que ha sido un pilar importante en mi vida que sin su apoyo incondicional no hubiese podido cumplir mis objetivos.

A mi esposo por la confianza, aguda y tolerancia que me ha tenido, por permitirme terminar mis estudios universitarios.

A mi compañero de Tesis Carlos Misé por toda la paciencia, el apoyo y por creer en que si lo lograríamos.

A Ing. Washington Fréire que con sus palabras de ánimo he podido culminar esta etapa importante de mi vida.

A Ing. Henry Calle por guiarnos y brindarnos todo su apoyo y comprensión.

NANCY

DEDICATORIA

A mi Madre por darme la vida, por ser mi fortaleza, por mi apoyo incondicional en todo momento, hoy ves en mí el reflejo de toda una vida de enseñanzas.

A mi Padre por sus sabios consejos, por ser realmente un verdadero Padre, por tu apoyo incondicional, hoy quiero decirte que te admiro por siempre velar por el bienestar estudiantil de tus hijos y el bienestar familiar.

A mi Hermana quien siempre estuvo conmigo para extenderme la mano y ayudarme a seguir adelante y no desmayar.

A mi amada esposa e hija mis mayores tesoros en este mundo, son mi alegría y a la vez mi mayor motivo de superación, por estar conmigo siempre dándome ánimos y por ser los más grandes amores que Dios me pudo haber regalado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser la fuente de toda sabiduría y permitirme terminar una etapa de formación que desde el inicio fue difícil, me enseñó a levantarme ya derrotado y sostenerme de la mano de mi familia, pilar fundamental en este logro alcanzado hoy puedo decir gracias Padre Dios.

A mis Padres que día a día, desde mi niñez me enseñaron que en la vida no hay sueños imposibles, pero si se quiere alcanzarlos requieren de grandes sacrificios, a ustedes después de tantos sufrimientos amargos que pasamos ahora puedo brindarles una alegría, sin duda fueron los creadores y autores de este logro, gracias Padres amados, Dios les bendiga.

A mi querida Hermana por sus palabras de motivación que me brindo, sus experiencias y compartimos objetivos que gracias a nuestros Padres lo logramos.

A mi Tutora Ing. Ibeth Delgado por sus enseñanzas como maestra, por sus sabios concejos que me brindo en la etapa inicial de mis estudios y por su colaboración al finalizar mi formación profesional.

Al Ing. Henry Calle por sus acertada dirección y enseñanzas brindadas para la realización de este proyecto.

Al Ing. Washington Freire por sus sabios concejos brindados durante mi formación profesional en la Universidad y por su colaboración en este proyecto.

DANILO

Nuestro Agradecimiento especial a todo el personal de la Empresa Eléctrica Cotopaxi, en especial al departamento Técnico, al departamento comercial, al departamento de planificación y al departamento de operaciones, por su colaboración y conocimiento técnico que fue fundamental para la culminación de este proyecto.

NANCY Y DANILLO

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE TABLAS	xxiii
RESUMEN	xxviii
SUMMARY	xxix

CAPÍTULO I**1 PROBLEMA**

1.1	Planteamiento del problema	1
1.1.1	Formulación del problema	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Justificación	2
1.4	Importancia	3
1.5	Objetivos	3
1.5.1	Objetivo General	3
1.5.2	Objetivos Específicos	3

1.6	Definición del problema	x 4
-----	-------------------------------	--------

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes Investigativos.....	5
2.2	Fundamentación teórica	6
2.2.1	Definiciones	6
2.2.2	Distribución de Energía Eléctrica	11
a.	Redes de distribución	11
b.	Líneas de transmisión	13
c.	Alimentador primario.....	14
d.	Circuito secundario	14
e.	Circuito radial	14
2.2.3	Sistema Eléctrico de Potencia (S.E.P.)	14
a.	Objeto de una subestación	14
b.	Definición de una subestación	15
c.	Características de operación de las subestaciones	16
d.	Clasificación de las subestaciones por su función dentro del sistema.....	16
e.	Clasificación de las subestaciones por tipo de operación	17
f.	Clasificación de las subestaciones por su forma constructiva:	18
2.2.4	Calidad de Energía Eléctrica.....	18
a.	Normatividad acerca de la calidad de la energía eléctrica.....	19
b.	Norma ANSI C84.1-2006: Para sistemas eléctricos de potencia y equipos	19
c.	Aplicación de rangos de voltaje.....	21
d.	Regulación CONELEC 004/01.....	25

		xi
e.	Nivel de voltaje	26
f.	Factor de potencia	27
g.	Límites de operación en los puntos de entrega	28
2.3	Fundamentación conceptual.....	29
2.3.1	Sistema de distribución de ELEPCO S.A.	29
a.	Introducción	29
b.	Área de concesión	29
c.	Fuentes de suministro de energía eléctrica	31
d.	Sistema de Subtransmisión	33
e.	Subestaciones de Distribución	35
2.4	Fundamentación Legal.....	39
2.5	Sistema de variables.....	39
2.5.1	Definición nominal	39
2.5.2	Definición conceptual	39
2.5.3	Definición operacional.....	39
2.6	Modelo eléctrico	40
2.6.1	Flujos de potencia	41
2.6.2	Software CYMDIST	41
2.7	Hipótesis	45
2.8	Cuadro de operacionalización de las variables	45

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1	Modalidad de la investigación	47
3.1.1	Método documental bibliográfico:.....	47

	xii
3.1.2	Método experimental: 47
3.1.3	Método deductivo: 47
3.2	Tipos de investigación 47
3.2.1	Investigación aplicada:..... 47
3.2.2	Investigación descriptiva: 48
3.2.3	Investigación de campo: 48
3.3	Diseño de la investigación 48
3.3.1	Investigación experimental: 48
3.4	Niveles de investigación 48
3.5	Población y muestra 49
3.5.1	Subestación FAIRIS..... 49
3.5.3	Subestación HOLCIM 49
3.5.4	Subestación SALCEDO 49
a.	Alimentador 1 Salcedo Norte Oriente..... 50
b.	Alimentador 2 Salcedo Centro..... 52
c.	Alimentador 3 Salcedo Sur 54
d.	Alimentador 4 Salcedo Occidental 57
3.6	Técnicas de recolección de datos 59
3.6.1	Instrumento 59
a.	Probadores de fase para circuitos de distribución..... 59
b.	Medidor digital ION – 8600 60
c.	Medidor digital ION – 7650 61
3.6.2	Validez y confiabilidad 62
3.7	Técnicas de análisis de datos 63
3.7.1	Procesamiento de datos..... 64

	xiii
a. Sistema Salcedo:	64
b. Subestación Salcedo.....	67
c. Alimentador 1: Salcedo Norte Oriente	71
d. Alimentador 2: Salcedo Centro.....	74
e. Alimentador 3: Salcedo Sur	78
f. Alimentador 4: Salcedo Occidental	81
3.8 Técnicas de comprobación de hipótesis.....	85

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Diagnóstico del Sistema Eléctrico de Subtransmisión a 69 kV.....	86
4.1.1 Demanda máxima	86
a. Sistema Salcedo	86
b. Planta Fábrica Fairis	91
c. Planta Fábrica Holcim.....	92
d. Alimentador 1: Salcedo Norte Oriente	94
e. Alimentador 2: Salcedo Centro.....	99
f. Alimentador 3: Salcedo Sur	105
g. Alimentador 4: Salcedo Occidental	111
4.1.2 Demanda Mínima.....	116
a. Sistema Salcedo	117
b. Planta Industrial Fairis	118
c. Planta Industrial Holcim	119
d. Alimentador 1: Salcedo Norte Oriente	120
e. Alimentador 2: Salcedo Centro.....	121

		xiv
f.	Alimentador 3: Salcedo Sur	122
g.	Alimentador 4: Salcedo Occidental	123
4.1.3	Demanda Media	123
a.	Sistema Salcedo	124
b.	Planta Industrial Fairis	125
c.	Planta Industrial Holcim	126
d.	Alimentador 1: Salcedo Norte Oriente	127
e.	Alimentador 2: Salcedo Centro.....	128
f.	Alimentador 3: Salcedo Sur	129
g.	Alimentador 4: Salcedo Occidental	130
4.2	Condiciones de operación en el sistema de Salcedo a 69kV	131
4.3	Comprobación de hipótesis.....	132
4.3.1	Alimentador 1: Salcedo Norte Oriente	132
4.3.2	Comparación de resultados en los alimentadores 3 y 4	133

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

5.1	Datos informativos.....	135
5.2	Antecedentes de la propuesta.....	135
5.3	Justificación	136
5.4	Objetivos	136
5.4.1	Objetivo General.....	136
5.4.2	Objetivos Específicos.....	136
5.5	Fundamentación de la propuesta.....	136
5.6	Diseño de la propuesta	137

	xv
5.6.1	Condiciones de operación - Alimentador 1 138
5.6.2	Condiciones de operación - Alimentador 2 148
5.6.3	Condiciones de operación - Alimentador 3 148
5.6.4	Condiciones de operación - Alimentador 4 149
5.6.5	Subestación Yambo 149
a.	Transferencia de 1MW 151
b.	Transferencia de 2MW 154
5.7.	Sistema Salcedo 156
5.7.1.	ESCENARIO 1: Planta industrial de la fábrica HOLCIM 156
5.7.2.	ESCENARIO 2: Alimentador 1 de la subestación Salcedo..... 158
5.7.3.	ESCENARIO 3: Planta industrial de fábrica HOLCIM y alimentador 1.. 160
5.7.4.	Evaluación de resultados en el punto frontera Ambato 161
5.7.5.	Evaluación de ESCENARIO 3 a distintas condiciones 162
a.	Demanda Mínima..... 162
b.	Demanda media 163
5.8.	Evaluación de resultados en el sistema de distribución Salcedo 164
5.8.1.	Evaluación Económica..... 166

CAPÍTULO VI

6.1	CONCLUSIONES 168
6.2	RECOMENDACIONES..... 169

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 170

ANEXOS 173

ANEXO A: Diagrama unifilar de ELEPCO S.A.

ANEXO B: Sistema de subtransmision Salcedo

ANEXO C: Alimentador 1 de Salcedo norte oriente

ANEXO D: Alimentador 2 de Salcedo centro

ANEXO E: Alimentador 3 de Salcedo sur

ANEXO F: Alimentador 4 de Salcedo occidental

ANEXO G: Curva de demanda del punto frontera Ambato

ANEXO H : Curva de demanda de la subestacion Salcedo

ANEXO I: Curva de demanda del alimentador 1

ANEXO J: Curva de demanda del alimentador 2

ANEXO K: Curva de demanda del alimentador 3

ANEXO L: Curva de demanda del alimentador 4

ANEXO M: Condiciones a demanda maxima del sistema Salcedo

ANEXO N: Condiciones a demanda maxima del alimentador 1

ANEXO O: Condiciones a demanda maxima del alimentador 2

ANEXO P: Condiciones a demanda maxima del alimentador 3

ANEXO Q: Condiciones a demanda maxima del alimentador 4

ANEXO R: Condiciones a demanda minima del sistema salcedo

ANEXO S: Condiciones a demanda media del sistema Salcedo

ANEXO T: Diagrama unifilar con la subestacion Yambo

ANEXO U: Seccionamiento entre el alimentadores 3 y alimentador 4

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rendimiento eléctrico de una instalación	8
Figura 2. Rendimiento eléctrico de una instalación	9
Figura 3. Sistemas de distribución dentro de un sistema de potencia	13
Figura 4. Sistema de generación y consumo de energía eléctrica.....	15
Figura 5. Área de concesión	30
Figura 6. Nodos del Sistema Nacional Interconectado.....	33
Figura 7. Programa CYMDIST	42
Figura 8. Módulo de distribución de carga en el programa CYMDIST	44
Figura 9. Distribución de carga en el programa CYMDIST	44
Figura 10. Alimentador 1 Salcedo Norte Oriente.....	50
Figura 11. Alimentador 2 Salcedo Centro.....	53
Figura 12. Alimentador 3 Salcedo Sur	55
Figura 13. Alimentador 3 Salcedo Sur	57
Figura 14. Probadores de fase	59
Figura 15. Medidor ION – 8600	60
Figura 16. Características generales del medidor ION – 8600	61
Figura 17. Medidor ION - 7650	61
Figura 18. Características generales del medidor ION – 650	62
Figura 19. Precisión del medidor ION – 7650.....	62
Figura 20. Precisión del medidor ION – 8600.....	63
Figura 21. Histograma de voltaje del sistema Salcedo.....	65
Figura 22. Histograma de factor de potencia del sistema Salcedo	66

Figura 23. Histograma de voltaje de la S/E Salcedo	68
Figura 24. Histograma de factor de potencia de la S/E Salcedo	70
Figura 25. Histograma de voltaje del Alimentador 1	72
Figura 26. Histograma de factor de potencia del alimentador1	73
Figura 27. Histograma de voltaje del Alimentador 2.....	75
Figura 28. Histograma de factor de potencia del alimentador 2.....	77
Figura 29 Histograma de voltaje del Alimentador 3.....	79
Figura 30. Histograma de factor de potencia del alimentador 3.....	80
Figura 31 Histograma de voltaje del Alimentador 4.....	83
Figura 32. Histograma de factor de potencia del alimentador 4.....	84
Figura 33. Caída de voltaje del sistema Salcedo	86
Figura 34. Perfil de Voltaje del sistema Salcedo	87
Figura 35. Zonas de mayor densidad de carga del sistema Salcedo.....	88
Figura 36. Curva de carga y factor de potencia del sistema Salcedo	89
Figura 37. Curva de carga y factor de potencia del sistema Salcedo	90
Figura 38. Caída de voltaje a demanda máxima subestación Fairis.....	91
Figura 39. Factor de potencia a demanda máxima hasta la subestación Fairis	91
Figura 40. Curva de carga y factor de potencia subestación Fairis	92
Figura 41. Caída de voltaje a demanda máxima subestación Holcim.....	92
Figura 42. Factor de potencia a demanda máxima hasta la subestación Holcim	93
Figura 43. Curva de carga y factor de potencia subestación Holcim.	93
Figura 44. Caída de Voltaje a Demanda Máxima - alimentador 1.....	94
Figura 45. Caída de voltaje en la Fase C - alimentador 1	94

Figura 46. Zonas de mayor densidad de carga - alimentador 1	96
Figura 47. Factor de potencia media - alimentador 1	97
Figura 48. Curva de carga y factor de potencia - alimentador 1	97
Figura 49. Caída de voltaje en la fase C - alimentador 1	99
Figura 50. Caída de voltaje a demanda máxima - alimentador 2.....	99
Figura 51. Caída de voltaje en la fase C - alimentador 2	100
Figura 52. Zonas de mayor densidad de carga - alimentador 2.....	101
Figura 53. Factor de potencia media - alimentador 2.....	103
Figura 54. Curva de carga y factor de potencia - alimentador 2	103
Figura 55. Desequilibrio de corriente - alimentador 2.....	105
Figura 56. Caída de voltaje a demanda máxima - alimentador 3: Ramal 1	105
Figura 57. Caída de voltaje a demanda máxima - alimentador 3: ramal 2.....	105
Figura 58. Caída de voltaje en la fase B - alimentador 3.....	106
Figura 59. Caída de voltaje en la fase C - alimentador 3	106
Figura 60. Zonas de mayor densidad de carga - alimentador 3.....	108
Figura 61. Factor de potencia media - alimentador 3.....	109
Figura 62. Curva de carga y factor de potencia - alimentador 3	109
Figura 63. Desequilibrio de corriente - alimentador 3.....	111
Figura 64. Caída de voltaje a demanda máxima - alimentador 4.....	111
Figura 65. Caída de voltaje en la fase B - alimentador 4.....	112
Figura 66. Zonas de mayor densidad de carga - alimentador 4.....	113
Figura 67 Factor de potencia media - alimentador 4.....	114
Figura 68 Curva de carga y factor de potencia - alimentador 4	115

	XX
Figura 69. Desequilibrio de corriente del alimentador 4	116
Figura 70. Caída de Voltaje a demanda mínima del sistema Salcedo	117
Figura 71. Factor de potencia a demanda mínima del sistema Salcedo.....	117
Figura 72. Caída de voltaje a demanda mínima hasta la subestación Fairis	118
Figura 73. Factor de potencia a demanda mínima hasta la subestación Fairis	118
Figura 74. Caída de Voltaje a demanda mínima subestación Holcim	119
Figura 75. Factor de potencia a demanda mínima subestación Holcim.....	119
Figura 76. Caída de voltaje a demanda mínima - alimentador 1.....	120
Figura 77. Factor de potencia a demanda mínima - alimentador 1.....	120
Figura 78. Caída de voltaje a demanda mínima - alimentador 2.....	121
Figura 79. Factor de potencia a demanda mínima - alimentador 2.....	121
Figura 80. Caída de voltaje a demanda mínima - alimentador 3.....	122
Figura 81. Factor de potencia a demanda mínima - alimentador 3.....	122
Figura 82. Caída de voltaje a demanda mínima - alimentador 4.....	123
Figura 83. Factor de potencia a demanda mínima - alimentador 4.....	123
Figura 84. Caída de Voltaje a demanda media del sistema Salcedo.....	124
Figura 85. Factor de potencia a demanda media del sistema Salcedo.....	124
Figura 86 Caída de Voltaje a demanda media subestación Fairis	125
Figura 87. El factor de potencia a demanda media subestación Fairis.....	125
Figura 88. Caída de Voltaje a demanda media subestación Holcim	126
Figura 89. El factor de potencia a demanda media subestación Holcim.....	126
Figura 90. Caída de voltaje a demanda media - alimentador 1.....	127
Figura 91. El factor de potencia a demanda media - alimentador 1	127

	xxi
Figura 92. Caída de voltaje a demanda media - alimentador 2.....	128
Figura 93. El factor de potencia a demanda media - alimentador 2.....	128
Figura 94. Caída de voltaje a demanda media - alimentador 3.....	129
Figura 95. Factor de potencia a demanda media del alimentador 3	129
Figura 96. Caída de voltaje a demanda media - alimentador 4.....	130
Figura 97. Factor de potencia a demanda media - alimentador 4.....	130
Figura 98. Distribución de carga en el alimentador 1	139
Figura 99. Distribución de demanda máxima en el alimentador 1	139
Figura 100. Flujo de carga en el alimentador 1	140
Figura 101. Ubicación óptima de capacitores en el alimentador 1	140
Figura 102. Aumento máximo de voltaje en el alimentador 1.....	141
Figura 103. Factor de potencia máximo - alimentador 1	141
Figura 101. Selección del tamaño de capacitores en el alimentador 1	142
Figura 105. Modelamiento de capacitores en el alimentador 1	142
Figura 106. Reducción máxima de pérdidas en el alimentador 1	143
Figura 107. Ubicación de condensadores en el alimentador 1	144
Figura 108. Resultados obtenidos en el alimentador 1	144
Figura 109. Factor de potencia en el alimentador 1	145
Figura 110. Balance de carga en el Alimentador 1.....	146
Figura 111. Balance de corriente y potencia en el alimentador 1	147
Figura 112. Instalación de capacitores en la subestación Holcim	157
Figura 113. Resultados en la subestación Holcim.....	157
Figura 114. Factor de potencia en la subestación Ambato	158

	xxii
Figura 115. Ubicación de capacitores en el alimentador 1	158
Figura 116. Factor de potencia en el alimentador 1	159
Figura 117. Factor de potencia en el sistema Salcedo.....	159
Figura 118. Resultados en la subestación Holcim.....	160
Figura 119. Factor de potencia en el sistema Salcedo.....	161
Figura 120. Resultados en el sistema Salcedo	162
Figura 121. Factor de potencia en el sistema Salcedo.....	163
Figura 122. Resultados en el sistema Salcedo	163
Figura 123. Factor de potencia en la subestación Ambato	164
Figura 124. Condiciones a nivel de subtransmisión con la S/E YAMBO.....	165
Figura 125. Factor de potencia en el sistema Salcedo.....	166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Aumento de la potencia en el secundario de un transformador.....	10
Tabla 2 Factor multiplicador de la sección del cable	11
Tabla 3 Sistema nominal de voltajes estándar y rangos de voltaje	23
Tabla 4 Variaciones de voltaje admitidas.....	27
Tabla 5 Límites de variación de voltaje para la operación del S.N.I.....	28
Tabla 6 Características de las centrales de generación de ELEPCO S.A.	32
Tabla 7 Características del sistema de subtransmisión ELEPCO S.A.....	34
Tabla 8 Datos del transformador de potencia de la S/E Salcedo.....	36
Tabla 9 Parámetros para determinar caídas de voltaje	43
Tabla 10 Características Generales del Alimentador 1	51
Tabla 11 Potencia Instalada de los transformadores por su tipo - alimentador 1	51
Tabla 12 Potencia de los transformadores por su capacidad - alimentador 1.....	52
Tabla 13 Características generales del alimentador 2	53
Tabla 14 Potencia de los transformadores por su tipo - alimentador 2	54
Tabla 15 Potencia de los transformadores por su capacidad - alimentador 2.....	54
Tabla 16 Características generales del alimentador 3	56
Tabla 17 Potencia Instalada de los Transformadores por su tipo - alimentador 3.....	56
Tabla 18 Potencia de los transformadores por su capacidad - alimentador 3.....	56
Tabla 19 Características generales del alimentador 4	58
Tabla 20 Potencia de los transformadores por su tipo - alimentador 4	58
Tabla 21 Potencia de los transformadores por su capacidad - alimentador 4.....	58
Tabla 22 Datos de voltaje del sistema Salcedo	64

Tabla 23 Datos de distribución de variación de voltaje del sistema Salcedo	64
Tabla 24 Datos del factor de potencia del sistema Salcedo.....	65
Tabla 25 Datos de distribución de factor de potencia del sistema Salcedo	66
Tabla 26 Demanda Sistema Salcedo	67
Tabla 27 Datos de voltaje de la S/E Salcedo.....	67
Tabla 28 Datos distribución de variación de voltaje de la S/E Salcedo	68
Tabla 29 Datos del factor de potencia de la S/E Salcedo	69
Tabla 30 Datos de distribución de factor de potencia de la S/E Salcedo	69
Tabla 31 Demanda subestación Salcedo	70
Tabla 32 Datos de voltaje del alimentador 1	71
Tabla 33 Datos de distribución de variación de voltaje del alimentador 1.....	71
Tabla 34 Datos del factor de potencia del alimentador 1	72
Tabla 35 Datos de distribución de factor de potencia del alimentador 1.....	72
Tabla 36 Demanda del alimentador 1	74
Tabla 37 Datos de voltaje del alimentador 2.....	74
Tabla 38 Datos de distribución de variación de voltaje del alimentador 2.....	75
Tabla 39 Datos del factor de potencia del alimentador 2	76
Tabla 40 Datos de distribución de factor de potencia del alimentador 2.....	76
Tabla 41 Demanda del alimentador 2	77
Tabla 42 Datos de voltaje del alimentador 3.....	78
Tabla 43 Datos de distribución de variación de voltaje del alimentador 3.....	78
Tabla 44 Datos del factor de potencia del alimentador 3	79
Tabla 45 Datos de distribución de factor de potencia del alimentador 3.....	80

Tabla 46 Demanda del alimentador 3	81
Tabla 47 Datos de voltaje del alimentador 4.....	81
Tabla 48 Datos de distribución de variación de voltaje del alimentador 3.....	82
Tabla 49 Datos del factor de potencia del alimentador 4	83
Tabla 50 Datos de distribución de factor de potencia del alimentador 4.....	83
Tabla 51 Demanda del Alimentador 4	85
Tabla 52 Reporte Flujo de Potencia del sistema Salcedo de CYMDIST	87
Tabla 53 Reporte de pérdidas en el sistema Salcedo de CYMDIST	89
Tabla 54 Reporte flujo de potencia del alimentador 1 de CYMDIST	95
Tabla 55 Reporte de pérdidas en el alimentador 1 de CYMDIST.....	96
Tabla 56 Reporte de desbalance de cargas en el alimentador 1 de CYMDIST	98
Tabla 57 Reporte de flujo de potencia del alimentador 2 de Cymdist.....	100
Tabla 58 Reporte de pérdidas en el alimentador 2 de CYMDIST.....	102
Tabla 59 Desbalance de cargas en el alimentador 2.....	104
Tabla 60 Reporte de flujo de potencia del alimentador 3 de CYMDIST	107
Tabla 61 Reporte de pérdidas del alimentador 3 de CYMDIST	108
Tabla 62 Desbalance de cargas en el alimentador 3.....	110
Tabla 63 Reporte de flujo de potencia del alimentador 4 de CYMDIST	112
Tabla 64 Reporte de pérdidas del alimentador 4 de CYMDIST	114
Tabla 65 Desbalance de cargas en el alimentador 4.....	115
Tabla 66 Condiciones del sistema Salcedo	131
Tabla 67 Condiciones de la subestación Fairis	131
Tabla 68 Condiciones de la subestación Holcim.....	131

Tabla 69 Datos de las mediciones en la línea trifásica del alimentador 1	132
Tabla 70 Datos de las mediciones en la línea trifásica del Alimentador 3	133
Tabla 71 Datos de las mediciones en la línea trifásica del Alimentador 4	134
Tabla 72 Características de operación del Alimentador 1	138
Tabla 73 Perfil de voltaje en el alimentador 1	144
Tabla 74 Cargas transferidas en el alimentador 1	146
Tabla 75 Condiciones de voltaje en el alimentador 1	147
Tabla 76 Características de operación del alimentador 2	148
Tabla 77 Características de operación del alimentador 3	148
Tabla 78 Características de operación del alimentador 4	149
Tabla 79 Transferencia de carga de 1MW	152
Tabla 80 Acciones en los elementos de control	152
Tabla 81 Evaluación de resultados en el alimentador 3	152
Tabla 82 Regulación de voltaje en el ramal 1 de la S/E YAMBO	153
Tabla 83 Evaluación de resultados en el alimentador 4	153
Tabla 84 Regulación de voltaje en el alimentador 4 de la S/E YAMBO	153
Tabla 85 Transferencia de carga de 2MW	154
Tabla 86 Acciones de los elementos de control	154
Tabla 87 Evaluación de resultados en el alimentador 3	155
Tabla 88 Regulación de voltaje en el ramal 1 de la S/E YAMBO	155
Tabla 89 Evaluación de resultados en el alimentador 4	155
Tabla 90 Regulación de voltaje en el alimentador 4 de la S/E YAMBO	155
Tabla 91 Evaluación de resultados en la subestación Holcim	157

Tabla 92 Evaluación de resultados en la subestación Ambato - Holcim.....	157
Tabla 93 Perfil de voltaje en el alimentador 1.....	159
Tabla 94 Evaluación de resultados en la subestación Ambato - Salcedo.....	159
Tabla 95 Evaluación de resultados en la subestación Holcim.....	160
Tabla 96 Perfil de voltaje en el alimentador 1.....	160
Tabla 97 Evaluación de resultados en la subestación Ambato - Salcedo.....	160
Tabla 98 Evaluación de los escenarios propuestos.....	161
Tabla 99 Evaluación de resultados en la subestación Ambato – Salcedo - Holcim.....	162
Tabla 100 Evaluación de resultados en la subestación Ambato – Salcedo - Holcim.....	163
Tabla 101 Evaluación de la propuesta.....	164
Tabla 102 Evaluación de la propuesta.....	166

RESUMEN

En el siguiente trabajo de titulación se realizó un diagnóstico y análisis técnico del sistema eléctrico entre la empresa eléctrica provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. y la conexión con el punto frontera del Sistema Nacional Interconectado Ambato para mejorar las condiciones de calidad de energía eléctrica. El modelamiento del sistema de distribución se lo realizó en el software de Ingeniería Eléctrica CYMDIST tomando como base el sistema de ELEPCO S.A. realizado por el Departamento de Planificación y en el que se actualizaron los datos brindados por el Departamento Comercial como: clientes, tipos de clientes, consumo mensual, consumo promedio, obteniendo finalmente los estudio de flujos de potencia para conocer el estado actual de operación de los alimentadores 13.8kV y del sistema de subtransmisión a 69 kV, se realizaron mediciones en los puntos finales de los alimentadores para comprobar los resultados obtenidos en los flujos de potencia. Se evaluó distintos escenarios, donde se eligió una acción correctiva que cumplirá con las normas vigentes para niveles de voltaje y factor de potencia en condiciones de demanda máxima, demanda mínima y demanda media, establecidas por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad CONELEC 004/01 y la norma internacional ANSI C84.1.

PALABRAS CLAVE:

- **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**
- **VARIABLES ELÉCTRICAS**
- **EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A – SUBESTACIÓN AMBATO**

SUMMARY

In the following degree work was a diagnostic and technical analysis of the power system between the electric company provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. and the connection point border of the system national interconnected Ambato to improve the conditions of electric power quality. Distribution system modeling performed it in the software of electrical engineering CYMDIST taking as base system of ELEPCO S.A. carried out by the Planning Department and which have been updated with the data provided by the Sales Department as: customers, clients, monthly consumption, consumption rates average, finally obtaining the power flow study to know the current status of operation of the feeders 13.8kV and subtransmission to 69 kV system measurements were performed on the end points of the feeders to check the results obtained in the flows of power. We assessed different scenarios, where a corrective action that will meet the current standards for levels of voltage and power factor in conditions of maximum demand, demand minimum and average demand, established by the Agency for the regulation and Control of electricity CONELEC 004/01 and the international standard ANSI C84.1 was chosen.

KEY WORDS:

- **ELECTROMECHANICAL ENGINEERING**
- **ELECTRICAL VARIABLES**
- **PROVINCIAL ELECTRIC COMPANY COTOPAXI S.A – AMBATO SUBSTATION**

CAPÍTULO I

1 PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Según los datos de nivel de voltaje y factor de potencia del año 2015, obtenidos de los medidores de la subestación Salcedo perteneciente a ELEPCO S.A, se identifica un mayor consumo de reactivos ocasionado posiblemente por las diferentes cargas instaladas y por la creciente demanda de energía eléctrica, que tiende a afectar principalmente a los clientes de la subestación Salcedo y por lo tanto a la línea de subtransmisión de 69KV AMBATO – LATACUNGA.

La subestación SALCEDO posee 4 alimentadores primarios que brindan servicio de energía eléctrica a los clientes ubicados en las zona urbana y rural del Cantón Salcedo y clientes rurales de los cantones Latacunga y Pujilí. Se requiere un análisis de calidad de energía eléctrica en la subestación Salcedo, para determinar los parámetros eléctricos que están siendo afectados y proponer una alternativa técnicamente viable, determinando el sector o la zona de mayor afectación de las condiciones de energía eléctrica.

1.1.1 Formulación del problema

El desarrollo de nuevas tecnologías permite fabricar dispositivos y equipos que cuentan con alta capacidad, alto rendimiento y bajo costo. Estos dispositivos representan cargas no lineales para la red eléctrica y que son muy sensibles a las variaciones de voltaje, especialmente al nivel de voltaje. El crecimiento de la población afecta al sistema de distribución de energía eléctrica debido a una planificación de expansión de red no programada. Estos efectos se ven reflejados en los niveles de voltaje del suministro de energía residencial, comercial o industrial, en el factor de potencia en subestación y en los puntos frontera de red.

1.2 Antecedentes

El Sistema Eléctrico de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. (ELEPCO S.A.) tiene en sus alimentadores diferentes tipos de clientes: industriales, residenciales, comerciales, urbanos, urbano marginales y rurales, por lo que los parámetros eléctricos a nivel de distribución de ELEPCO S.A deben cumplir con indicadores de calidad establecidos en la regulación CONELEC 004/01, para lo cual debe monitorear y controlar que las cargas conectadas a su sistema como la subestación SALCEDO, la planta industrial FAIRIS y la planta industrial HOLCIM, cumplan igualmente con los mismos parámetros de calidad.

Debido a la presencia de las cargas no lineales en las redes de distribución y al crecimiento de la demanda de energía eléctrica, la calidad de energía eléctrica se ve afectada, por lo que se hace indispensable para ELEPCO S.A. realizar un seguimiento continuo para determinar si el funcionamiento de sus alimentadores es óptimo. La subestación Salcedo, sirve con cuatro alimentadores a toda la población del Cantón San Miguel de Salcedo y a la zona Sur Oriental de la ciudad de Latacunga y una parte de la zona Sur Occidental del Cantón Pujilí.

Las plantas industriales HOLCIM y FAIRIS reciben energía eléctrica desde la línea de subtransmisión de 69 KV AMBATO – LATACUNGA, que parte de la subestación Ambato de propiedad de CELEC EP TRANSELECTRIC y representa el punto de conexión de ELEPCO S.A. con el Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.). Las redes de distribución de medio y bajo voltaje constan en la base de datos georeferenciados ARCGIS y se utilizarán en este proyecto para el análisis eléctrico en el programa CYMDIST.

1.3 Justificación

En la actualidad existe constante crecimiento industrial y tecnológico, haciendo de la energía un recurso necesario en nuestra vida cotidiana por lo que se debe utilizar de la manera más eficiente posible. En este proyecto se realizará un diagnóstico de calidad de energía eléctrica en la subestación Salcedo, con el fin de obtener parámetros eléctricos necesarios como nivel de voltaje, corriente, factor de potencia para poder

determinar las causas y problemas que afectan directamente a la eficiencia del sistema eléctrico y proponer los métodos de solución.

1.4 Importancia

La propuesta planteada en este proyecto permite mejorar de manera eficiente la calidad de energía eléctrica en una parte del sistema eléctrico de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. y la conexión con el punto frontera AMBATO.

El presente proyecto investigativo se lo realizará tomando en cuenta la Regulación **CONELEC 004/01**, y además la norma internacional vigente como **ANSI C84.1** u otras que tengan relación a la calidad de energía eléctrica.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Diagnosticar y analizar los parámetros eléctricos entre la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. y la conexión con el punto frontera AMBATO, para mejorar la calidad de energía.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Obtener un inventario topológico de las redes, equipos de transformación, cables, distancias, consumo de energía eléctrica y número de clientes conectados a los alimentadores, en archivos extensión para ARCGIS y CYMDIST.
- Evaluar las variables eléctricas en las salidas de los alimentadores y en cargas representativas utilizando registradores digitales.
- Realizar un diagnóstico de los parámetros eléctricos de la subestación Salcedo y sus alimentadores.
- Modelar los alimentadores primarios de la subestación Salcedo, en el software de simulación eléctrica CYMDIST.
- Comprobar los datos obtenidos del programa de simulación con mediciones en puntos de las redes de distribución.

- Establecer alternativas de mejoramiento en el sistema de energía eléctrica.

1.6 Definición del problema

El incremento de nuevos clientes tanto en zonas urbanas como en zonas rurales de la provincia de Cotopaxi, así como el incremento de nuevos equipos tecnológicos de los clientes actuales, ocasiona un crecimiento en la demanda de energía eléctrica en los sistemas de distribución de ELEPCO S.A. y en particular en el sistema de la subestación Salcedo.

Debido a la longitud relativamente larga de algunos alimentadores primarios de la subestación, existen clientes rurales con voltaje de servicio fuera de los límites establecidos en la regulación CONELEC 004/01 y en las normas Internacionales ANSI C84.1. En el primario más corto se presenta un problema de bajo voltaje en el final del circuito de medio voltaje debido a la alta demanda de potencia de los clientes conectados a este alimentador. La variación de voltaje a nivel de primarios (13,8kV) debe ser máximo de un 8%.

Se debe optimizar los circuitos primarios para poder cumplir con la reglamentación establecida y de esta manera brindar un servicio de energía eléctrica óptimo tanto en zonas rurales como en zonas urbanas. Se plantea analizar los perfiles de voltaje y el factor de potencia en la subestación Salcedo y conocer qué condiciones se tiene en el punto frontera con la subestación Ambato (69kV) para proponer soluciones técnicas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos

Para la realización de esta investigación se ha realizado una búsqueda en el repositorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE destacando el trabajo de Ramón Paulo y Saavedra Carlos “*Diagnóstico Técnico y Evaluación Económica de las pérdidas que se producen en el Alimentador N° 4 a 13,8 kV de la subestación Salcedo perteneciente a la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi*”. (Ramón P., 2005).

Utilizando el repositorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi destacando el trabajo de Culqui Luis y Basantes Marco “*Estudio de la Calidad de Energía a Nivel de Cliente en el Primario N° 1 kV de la subestación Salcedo (69/13.8) de la Empresa Eléctrica Cotopaxi*”. (Basantes, 2010).

Los datos para el estudio fueron proporcionados por la Dirección de Planificación, la Dirección Técnica, la Dirección Comercial de ELEPCO S.A y con la colaboración del Departamento de Operaciones de la Empresa Eléctrica Ambato que facilitaron los registros de potencia, voltaje, energía, condiciones de voltaje y factor de potencia de la subestación Ambato, planta industrial de la fábrica FAIRIS, subestación Salcedo, y la planta industrial de la fábrica HOLCIM.

Los datos de la base geográfica de ELEPCO S.A. requeridos para el estudio fueron proporcionados por la Dirección de Planificación de ELEPCO S.A. El trabajo inicial consistió en validar la información recibida por lo que se realizó una verificación detallada de los datos del ARCGIS y se encontraron clientes con códigos incorrectos, áreas mal asignadas, clientes duplicados, clientes no asignados, datos incompletos y algunos datos no actualizados que requirió tiempo y dedicación para procesar la información no solo interna de la Empresa Eléctrica Cotopaxi sino información externa de las siguientes fuentes:

- **ARCONEL:** Geoportal Estadístico SNI.

- **Departamento De Planificación de ELEPCO S.A.:** Registros de los clientes de ELEPCO S.A. de la S/E Salcedo.
- **Departamento Técnico:** Información del trazado de líneas de subtransmisión e interconexión y calibres de conductores e información de las subestaciones.
- **Departamento Comercial:** Facturación de energía e Información sobre grandes clientes.

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Definiciones

- **Carga eléctrica:** Para un sistema eléctrico de potencia representa la potencia eléctrica consumida por los equipos instalados en cada uno de los clientes industriales y comerciales, estos equipos pueden ser motores, bombas, electrodomésticos, etc.
- **Carga instalada:** Es la suma de todas las potencias nominales continuas de los aparatos de consumo conectados a un sistema o a parte de él, se expresa generalmente en KVA, MVA, kW o MW, (Ramírez, 2004).

$$CI = \sum \text{Potencias Nominales de las cargas} \quad \text{Ec. (1)}$$

- **Suministro Eléctrico:** El suministro eléctrico comprende un conjunto de medios, actos y elementos útiles para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica, para el desarrollo de nuestra sociedad.
- **Curva de carga:** La curva de carga representa gráficamente la variación de carga en un determinado intervalo de tiempo. Con pocas excepciones, la carga siempre será variable hora a hora, día a día.
- **Intervalo de demanda:** El periodo sobre el cual la carga es promediada, normalmente es usado cada 15 o 10min., dependiendo de la duración de las cargas, (Zamora, 2010).
- **Demanda:** La demanda de un sistema es el promedio de la potencia requerida por una carga, durante un intervalo de tiempo que se denomina también intervalo de demanda. La demanda se expresa en KW, KVA, KVAR.

$$\bar{D} = \frac{\text{Energía(KWh)}}{\text{Tiempo(horas)}} = \frac{E_C}{T} \quad \text{Ec. (2)}$$

- **Demanda máxima:** Es la mayor demanda ocurrida en un sistema o en la parte que interesa de él, durante un período de tiempo considerando. Comúnmente se la llama demanda máxima o carga pico.
- **Demanda media:** Es la relación que existe entre el consumo de energía durante un periodo de tiempo determinado como: un día, una semana, un mes o un año.

$$D_{Media} = \frac{E (kWh)}{T} \quad \text{Ec. (3)}$$

- **Factor de carga:** Se define como la relación entre la demanda promedio en el intervalo de tiempo dado y la demanda máxima observada en el mismo intervalo de tiempo.

$$F_{Carga} = \frac{\bar{D}_{promedio}}{\bar{D}_{máx}} \quad \text{Ec. (4)}$$

- **Factor de demanda:** Es la relación entre la demanda máxima de un sistema y la carga total instalada. La carga instalada total es la suma de todas las potencias de placa de los aparatos instalados al sistema.

$$F_{Demanda} = \frac{\bar{D}}{\sum C_i} \quad \text{Ec. (5)}$$

- **Factor de utilización:** El factor de utilización es la relación entre la demanda máxima de un sistema y la capacidad nominal del sistema (o de un elemento).

$$F_{Utilización} = \frac{\bar{D}_{máx}}{C_0} \quad \text{Ec. (6)}$$

- **Pérdidas de energía:** Energía eléctrica disipada por causas inherentes al proceso de transporte o transformación, más la energía que por diversos factores no se contabiliza o se contabiliza erróneamente por las empresas encargadas del suministro. Puede definirse también como la diferencia que resulta al hacer un balance entre la energía demandada y la energía facturada.
- **Pérdidas de potencia:** Potencia entregada a un elemento o sistema que no es utilizado, (Saavedra, 2011).
- **Límite térmico:** Es la temperatura máxima de operación de un conductor que puede alcanzar sin que sufra daños eléctricos y mecánicos, por lo que no produce afectaciones a los equipos que se encuentren conectados al conductor.

- **Límite de carga en los conductores:** Se define como el porcentaje de corriente que está circulando por el conductor con relación al límite térmico. Se acepta un margen no mayor al 80 %, en condición de operación normal, mientras que, en condiciones de emergencia, se permite un porcentaje del 100%, pero dicha condición deberá durar el tiempo más corto posible.
- **Carga lineal:** Se define como la relación de voltaje y corriente de igual frecuencia.
- **Carga no lineal:** Carga en la cual la corriente no tiene relación lineal con el voltaje.
- **Factor de potencia:** Es la relación entre potencia activa y la potencia aparente, expresada a continuación:

$$fp = \cos\varphi = \frac{P}{S} \quad \text{Ec. (7)}$$

Para circuitos monofásicos:

$$fp = \frac{P}{S} = \frac{U \cdot I \cdot \cos\varphi}{U \cdot I} \quad \text{Ec. (8)}$$

Para circuitos trifásicos:

$$fp = \frac{P}{S} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I} \quad \text{Ec. (9)}$$

El $\cos\varphi$ indicará el rendimiento eléctrico de una instalación. (ELECTRIC, 2011).

- **Compensación de la potencia reactiva de una instalación:** Es la conexión de cargas inductivas en una instalación que provoca el desfase entre la onda de intensidad y el voltaje, (figura 1). El $\cos\varphi$ indicará por tanto la relación entre la potencia activa y la potencia aparente de la instalación, así como los kVA que se pueden consumir como máximo en la misma.

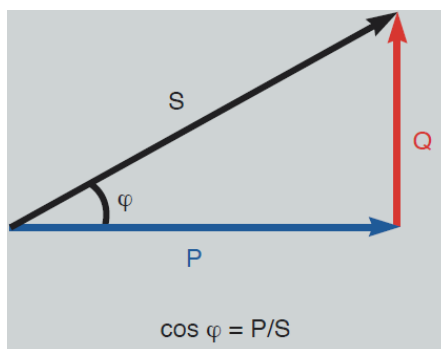


Figura 1. Rendimiento eléctrico de una instalación
Fuente: (ELECTRIC, 2011)

- **Energía activa:** Es aquella que se transforma en su totalidad en trabajo “útil”, las máquinas eléctricas alimentadas de corriente alternan convierten la energía eléctrica suministrada en trabajo mecánico y calor. Esta energía se mide en KWh.
- **Energía reactiva:** Es aquella que se utiliza para la generación de campos eléctricos y magnéticos de determinados receptores, como son los bobinados de motores y condensadores instalados en los ordenadores y equipos electrónicos. Por tanto, no se transforma en ningún tipo de trabajo denominado “útil”. Esta energía se mide en kVARh. Este traspaso de energía entre las cargas y la fuente provoca pérdidas en los conductores y caídas de voltaje, (ELECTRIC, 2011).

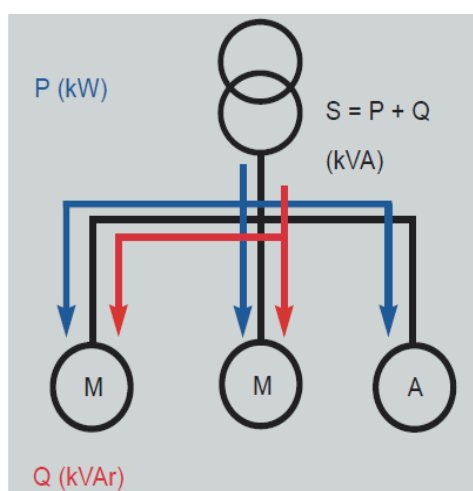


Figura 2. Rendimiento eléctrico de una instalación
Fuente: (ELECTRIC, 2011)

- **Cálculo de la potencia reactiva a compensar:** para hallar la potencia del banco de condensadores a instalarse en un sistema eléctrico se multiplicará la potencia activa del sistema eléctrico por la diferencia entre la tangente del factor de potencia deseado y el factor de potencia actual, como se indica en la ecuación 10:

$$Q(kVAR_c) = P (kW) * [tang\phi_1 - tang\phi_2] \quad \text{Ec. (10)}$$

- **Ventajas de la compensación:**

1. Minimiza las caídas de voltaje

La instalación de condensadores permite la reducción de las caídas de voltaje aguas arriba del punto de conexión del equipo de compensación. (ELECTRIC, 2011).

2. Reducción de la tarifa eléctrica

3. Incremento de la potencia disponible

Las compañías eléctricas penalizan el consumo de energía reactiva con el objeto de incentivar su corrección. Un factor de potencia elevado optimiza los componentes de una instalación eléctrica mejorando su rendimiento eléctrico. La instalación de condensadores reduce el consumo de energía reactiva entre la fuente y los receptores, proporcionan la energía reactiva descargando a la instalación desde el punto de conexión de los condensadores aguas arriba, (ELECTRIC, 2011).

Tabla 1
Aumento de la potencia en el secundario de un transformador

<i>cos φ Inicial</i>	Aumento de Potencia Disponible
1	0,0 %
0,98	+ 2,0 %
0,95	+ 5,2 %
0,90	+ 11,1 %
0,85	+ 17,6 %
0,80	+ 25,0 %
0,70	+ 42,8 %
0,65	+ 53,8 %
0,50	+ 100,0 %

FUENTE: (ELECTRIC, 2011)

Como consecuencia es posible aumentar la potencia disponible en el secundario de un transformador MT/BT, instalando en la parte de baja un equipo de corrección del factor de potencia. La tabla 1, muestra el aumento de la potencia activa (kW) que puede suministrar un transformador corrigiendo hasta $\cos\phi=1$. (SCHNEIDER, 2006).

4. Reducción en la selección del calibre de conductor

La instalación de un equipo de corrección del factor de potencia en una instalación permite reducir la sección de los conductores a nivel de proyecto, ya que para una misma potencia activa la intensidad resultante de la instalación compensada es menor, (SCHNEIDER, 2006).

Tabla 2
Factor multiplicador de la sección del cable

<i>cos φ inicial</i>	Factor multiplicador de la sección del cable
1	1
0,80	1,25
0,60	1,67
0,40	2,50

FUENTE: (ELECTRIC, 2011)

La tabla 2 muestra el coeficiente multiplicador de la sección del conductor en función del $\cos\phi$ de la instalación, (SCHNEIDER, 2006).

5. Reduce las pérdidas

La instalación de condensadores permite la reducción de pérdidas por efecto Joule (calentamiento) en los conductores y transformadores. Estas pérdidas son contabilizadas como energía consumida (kWh) en el contador. Se puede determinar según la siguiente fórmula la disminución de pérdidas en función del $\cos\phi$ de la instalación: (SCHNEIDER, 2006).

$$\frac{\text{Pérdidas finales}}{\text{Pérdidas iniciales}} = \left(\frac{\cos\phi_{\text{iniciales}}}{\cos\phi_{\text{iniciales}}} \right)^2 \quad \text{Ec. (11)}$$

2.2.2 Distribución de Energía Eléctrica

a. Redes de distribución

La distribución de energía eléctrica es una actividad cuyas técnicas están en un proceso constante de evolución reflejada en el tipo de equipos y herramientas utilizadas, en los tipos de estructuras, en los materiales con los que se construyen las redes de distribución, en los métodos de trabajo de las cuadrillas de construcción y mantenimiento, en la metodología de diseño y operación, (Ramires, 2004).

Algunos de estos factores de evolución son:

- Expansión de la carga.
- Normalización de materiales, estructuras y montajes.

- Herramientas y equipos adecuados.
- Método de trabajos específicos y normalizados.
- Programas de prevención de accidentes y programas de mantenimiento.
- Surgimiento de industrias de fabricación de equipos eléctricos.
- Grandes volúmenes de datos y planos, (Ramires, 2004).

Requisitos que debe cumplir un sistema de distribución.

- Aplicación de normas nacionales y/o internacionales.
- Seguridad para el personal y equipos.
- Simplicidad en la construcción y operación (rapidez en las maniobras).
- Facilidades de alimentación desde el sistema de potencia.
- Optimización de costos (economía).
- Mantenimiento y políticas de adquisición de repuestos.
- Posibilidad de ampliación y flexibilidad.
- Resistencia mecánica.
- Entrenamiento del personal.
- Confiabilidad de los componentes.
- Continuidad del servicio.
- Información relacionada con la zona del proyecto (ubicación, altitud, vías de acceso).
- Información relacionada con las condiciones climáticas (temperatura, precipitaciones, velocidad del viento, contaminación ambiental).
- Información particular referente a: requerimientos técnicos de los clientes, ubicación de cargas especiales e industriales, plano loteado (que contenga zona residencial, comercial, importancia de las calles, ubicación de otras instalaciones, nivel socioeconómico, relación con otros proyectos en la zona y características geotécnicas). Regulación de tensión (niveles máximos admisibles).
- Pérdidas de energía (niveles máximos admisibles).
- Control de frecuencia, (Ramires, 2004).

El sistema de distribución está conformado por:

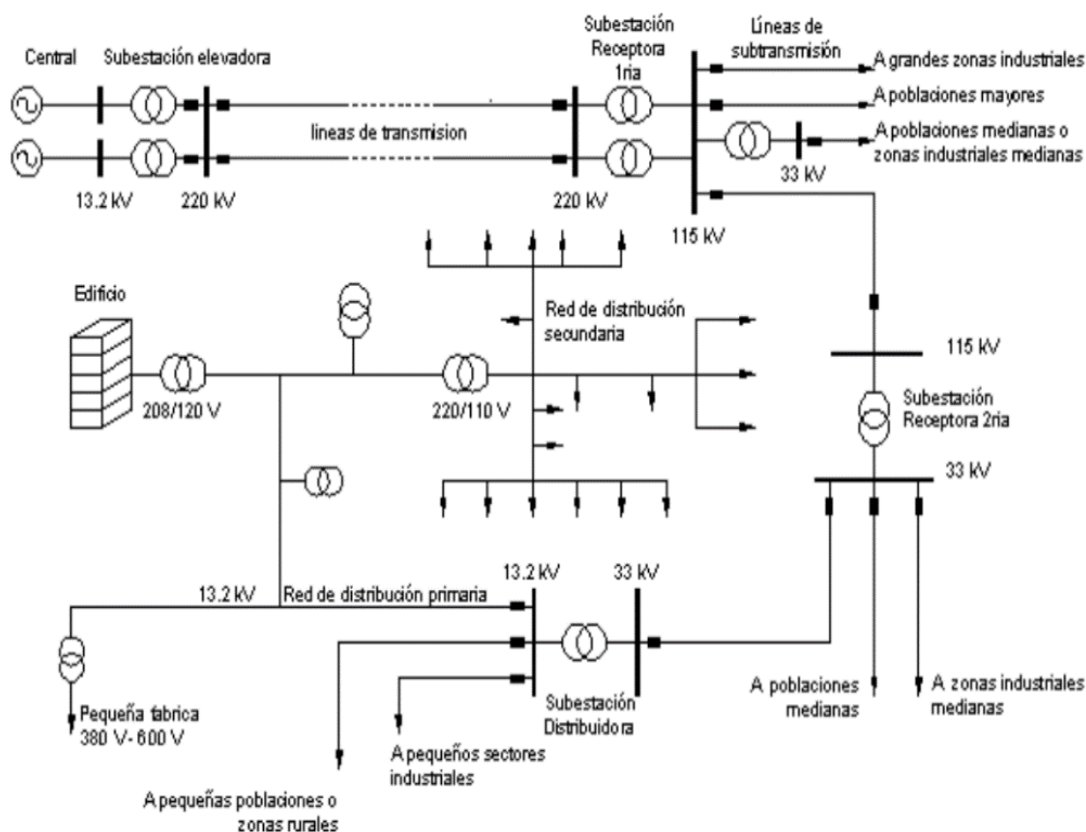


Figura 3. Sistemas de distribución dentro de un sistema de potencia
Fuente: (Ramires, 2004)

b. Líneas de transmisión

Es la parte del sistema constituida por varios elementos como: torres de transmisión, conductores, aisladores, postes, etc., que se encarga de llevar la energía eléctrica desde las fuentes de generación hasta los puntos de consumo a través de grandes distancias.

Los volúmenes de energía eléctrica producidos deben ser transformados elevándose su nivel de voltaje, una red de transmisión opera usualmente con voltajes del orden de 138kV, 230kV y 500kV denominados alto voltaje.

Considerando que, para un determinado nivel de potencia a transmitir, al elevar el voltaje en los conductores se reducirá la intensidad de corriente eléctrica que conducen y disminuirá las pérdidas por efecto Joule, los conductores están sujetos a tracciones causadas por la combinación de agentes como el viento, la temperatura del conductor,

la temperatura del aire, etc., el voltaje y la capacidad de la línea de transmisión afectan el tamaño de estas estructuras principales.

Las torres pueden ser postes simples para las líneas de transmisión pequeñas de hasta 46 kV, estructuras de postes en forma de H para las líneas de subtransmisión de 69 kV, para las líneas de 138kV o de mayor voltaje se utilizan estructuras de acero independiente, de circuito simple.

c. Alimentador primario

Son los circuitos con niveles de voltaje comprendidos entre 2.4kV y 44kV que transporta energía eléctrica desde una subestación de distribución, hasta el lado de medio voltaje de los transformadores de distribución.

d. Circuito secundario

Circuitos con niveles de voltaje de 120, 127, 208, 220, 240, 330 y 480 voltios, que transportan energía eléctrica desde el lado de bajo voltaje de los transformadores de distribución, hasta el punto de conexión del consumidor. (Saavedra, 2011).

e. Circuito radial

Circuito por el cual la corriente fluye en una sola dirección y tiene un punto único de alimentación.

2.2.3 Sistema Eléctrico de Potencia (S.E.P.)

a. Objeto de una subestación

Debido a que el voltaje de generación en una central eléctrica es relativamente bajo y su ubicación bastante lejana de los centros de consumo, el transporte de energía eléctrica a estos niveles resulta demasiado costoso. Para que el costo del transporte sea razonable es necesario elevar el voltaje a un nivel alto que depende de varios factores como: la potencia a transmitir, la longitud de la línea, las pérdidas, etc., en nuestro medio estos niveles pueden ser 13.8kV, 22kV, 69kV, 138kV, 230kV o 500kV. Dicha operación se efectúa en una instalación que se denomina en general estación transformadora elevador o subestación elevadora que eleva el voltaje para que, una

vez hecha la conducción por las líneas de transmisión, en los centros de consumo debe procederse a la distribución de esta potencia requiriéndose de subestaciones distribuidoras, que reducen el voltaje a 13.2kV, 13.8 kV, 22kv, etc.

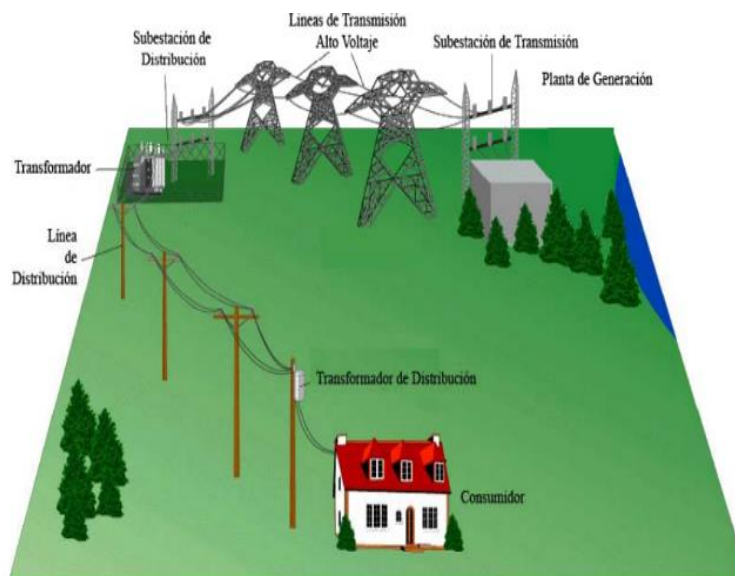


Figura 4. Sistema de generación y consumo de energía eléctrica
Fuente: (García, 2013)

Algunas veces se enlazan sistemas por medio de subestaciones de interconexión, finalmente se reduce el voltaje a un valor adecuado para los centros de consumo en unas casetas de transformación, cuyo elemento principal es el transformador de distribución, además se tiene un nivel intermedio denominado subtransmisión. En la figura 4, se presenta un sistema eléctrico con centros de producción y de consumo de la energía eléctrica, así como los puntos donde la energía sufre cambios en los niveles de voltaje de acuerdo al tipo de subestación requerido, (García, 2013).

b. Definición de una subestación

Una subestación es un punto dentro del sistema de potencia en el cual se cambian los niveles de voltaje y corriente con el fin de minimizar pérdidas y optimizar la distribución de la potencia por todo el sistema. Es además el centro donde se recibe y reparte la energía producida en las centrales generadoras, maniobrando y controlando su destino final a los diferentes centros de consumo, con determinados requisitos de calidad, (García, 2013).

c. Características de operación de las subestaciones

Características que determinan la forma de una subestación y se definen de la forma siguiente:

- **Flexibilidad:** Es la propiedad de la instalación para acomodarse a las diferentes condiciones que se puedan presentar, bien sea por mantenimiento, por cambios en el sistema o por fallas.
- **Confiabilidad:** Se define como la propiedad de que una subestación pueda mantener el suministro de energía, bajo la condición que al menos un componente de la subestación pueda repararse durante la operación.
- **Seguridad:** Es la propiedad de una instalación de operar adecuadamente bajo condiciones normales y anormales de manera que se evite el daño en los equipos o riesgo para las personas.
- **Modularidad:** Es la facilidad que tiene una subestación para cambiar de configuración cuando sus necesidades o el sistema lo requieran. Estas características pueden conjugarse en el momento de decidir la configuración de una subestación, dependiendo de la ubicación dentro del sistema de potencia, de acuerdo con su función o por su capacidad:
 1. Si la subestación es de una capacidad e importancia tales que su salida del sistema de potencia produzca suspensiones y problemas de racionamiento en todo un sistema eléctrico considerable, entonces la subestación requiere de un alto grado de seguridad.
 2. Si la subestación tiene un gran número de circuitos y ellos pertenecen a diferentes sistemas, dicha subestación requiere de un alto grado de flexibilidad.
 3. Si la subestación tiene como objetivo primordial el suministro de energía la necesidad principal de esta subestación es la confiabilidad, (García, 2013).

d. Clasificación de las subestaciones por su función dentro del sistema

- **Subestación de generación:** Es la estación primaria de la energía producida por las plantas generadoras, su objetivo esencial es transformar el voltaje a niveles

altos para lograr economía con la reducción de la corriente en el transporte de la energía eléctrica.

- **Subestación de transmisión:** Su función es interconectar las diferentes líneas de transmisión de 138kV o 230kV y actualmente 500kV. Estas generalmente alimentan también barrajes de 69kV y/o 13.8kV.
- **Subestación de subtransmisión:** Son aquellas que alimentan o interconectan líneas de nivel intermedio de voltaje, 69kV o 22kV, para transporte a distancias moderadas y de cargas no muy altas, con cargas distribuidas a lo largo de la línea.
- **Subestación de distribución:** Su función es reducir el voltaje a niveles de distribución 13.2kV y 13.8kV, para enviarla a los centros de consumo industrial o residencial, donde los transformadores de distribución instalados a lo largo de los circuitos, se encargan de reducir los niveles a bajo voltaje (440, 380, 220, 127 V), para alimentar a los clientes, (García, 2013).

e. Clasificación de las subestaciones por tipo de operación

Según el tipo de operación la subestación de transformación es una estación que transforma el voltaje dentro del sistema de potencia, a valores adecuados para su transporte o utilización. De acuerdo a la función de transformación que cumplan en el sistema de potencia se dividen en:

- **Subestación de transformación:** El voltaje de salida es diferente de la de entrada; estas son las que permiten elevar o reducir los niveles de voltaje desde los puntos de generación, pasando por los niveles más altos de transmisión, hasta los niveles más bajos de subtransmisión o distribución.
- **Subestación de maniobra:** Su función es unir algunas líneas de transporte con otras de distribución, con el propósito de dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio; el nivel de voltaje es uno solo, por lo tanto, no se utilizan transformadores de potencia que eleven o reduzcan el voltaje, (García, 2013).

f. Clasificación de las subestaciones por su forma constructiva:

Por su montaje:

- **Subestaciones interiores:** Donde sus elementos constitutivos se instalan en el interior de edificios apropiados.
- **Subestaciones exteriores o a la intemperie:** Sus elementos constitutivos se instalan a las condiciones ambientales.

Por su tipo de equipo:

- **Subestación convencional:** Es del tipo exterior pero la instalación de su equipo es abierta, sin que nada los proteja.
- **Subestación encapsulada:** Es una subestación cuyas partes vivas y equipos que soportan voltaje están contenidos dentro de envolventes metálicos. Por ejemplo, las subestaciones encapsuladas en SF6.
- **Subestación móvil:** Se caracteriza porque todo el conjunto de equipos está instalado sobre un remolque. Su objetivo básico es el de ser utilizado bajo circunstancias de emergencia, en cualquier punto del sistema, (García, 2013).

2.2.4 Calidad de Energía Eléctrica

La calidad de energía eléctrica es un conjunto de límites eléctricos que permiten que un equipo funcione de la forma prevista sin pérdida significativa de rendimiento. (ULLOA, 2013).

El término Calidad de Energía Eléctrica, es utilizado para describir una combinación de características a través de las cuales el producto y el servicio del suministro eléctrico deben cumplir con parámetros establecidos de tal forma que brinde un buen servicio al cliente. La pérdida de la calidad de energía significa deterioro de las señales de voltaje y corriente en lo que respecta a la forma de onda, frecuencia e interrupciones que llevan a la reducción o interrupción de procesos que ocasionan perjuicios.

Según esta definición algunas variables que toman relevancia en este análisis son: perturbación de la frecuencia; magnitud de voltaje y corriente; armónicos; desbalance;

factor de potencia; etc. Estas variables se deben controlar de la mejor manera para lograr un buen rendimiento del sistema al menor costo posible.

Existe un problema de calidad de energía eléctrica cuando ocurre cualquier desviación ya sea de voltaje, corriente o de frecuencia que provoque la mala operación de los equipos de uso final y deteriore la economía o el bienestar de los clientes; así mismo cuando ocurre alguna interrupción del flujo de energía eléctrica. Los efectos asociados a problemas de calidad de la energía son:

- Incremento en las pérdidas de energía.
- Daños a la producción, a la economía y la competitividad empresarial.
- Incremento del costo, deterioro de la confiabilidad, de la disponibilidad y del confort, (UPME, 2016).

a. Normatividad acerca de la calidad de la energía eléctrica

b. Norma ANSI C84.1-2006: Para sistemas eléctricos de potencia y equipos

Alcance

Esta norma establece clasificaciones de voltaje nominal y tolerancias de funcionamiento para sistemas de energía eléctrica de 60 Hertz superiores a 100 voltios. También hace recomendaciones para otros grupos de estandarización con respecto a la clasificación de voltaje para equipo usado en sistemas de energía y utilización de dispositivos conectados a dichos sistemas. Esta norma incluye clasificaciones de voltaje recomendado: hasta e incluyendo 1200kV como voltaje de sistema máximo.

Propósito

Los propósitos de esta norma son:

1. Promover un mejor entendimiento de los voltajes asociados con sistemas de energía y equipos de utilización para lograr un práctico y económico diseño y operación.
2. Establecer una nomenclatura uniforme en el campo de voltajes.
3. Promover la normalización del voltaje nominal del sistema y rangos de variación de voltaje para sistemas operativos.

4. Promover la normalización de tolerancias y grados de voltaje del equipo.
5. Promover la coordinación de las relaciones entre el sistema y equipo voltaje clasificaciones y tolerancias.
6. Proporcionan una guía para el futuro desarrollo y diseño de equipos para lograr el mejor cumplimiento posible de las necesidades de los clientes.
7. Proporcionan a una guía, con respecto a la elección de voltajes, para nuevas empresas de sistema de alimentación y cambios en antiguos sistemas.

Definiciones:

La norma ANSI C84.1 define sus propios criterios relacionados al voltaje, usados para definir sus niveles de confiabilidad y operación, permitiendo mejorar los sistemas eléctricos donde sea posible aplicarlos, estos criterios son:

- **Máximo voltaje:** Es el voltaje de sistema más alto que se produce en condiciones normales.
- **Voltajes de servicio:** Es el voltaje en el punto donde el sistema eléctrico del suministrador y el sistema eléctrico del usuario están conectados.
- **Voltaje de utilización:** Es el voltaje en los terminales de línea del equipo de utilización.
- **Voltaje de utilización nominal:** Es el voltaje nominal de determinados equipos de utilización en el sistema. Los rangos de voltaje se dan por separado para voltaje de servicio y para el voltaje de utilización, siendo normalmente utilizado en distintos lugares. Se reconoce que el voltaje en los puntos de utilización es normalmente inferior en el punto de servicio. Referencia a este hecho y el hecho de que los motores de caballos de fuerza integral, aire acondicionado y equipos de refrigeración o ambos, pueden constituir una pesada carga concentrada en algunos circuitos, el voltaje nominal de dichos equipos, motores y equipos de control de motor es generalmente más baja que el voltaje nominal del sistema.
- **Bajo voltaje:** Voltajes del sistema nominal 1 kV o menos.
- **Medio voltaje:** Voltajes del sistema nominal mayores que 1 kV y menor que 100 kV.

- **Alto voltaje:** Voltajes del sistema nominal igual o mayor a 100 kV e igual o menor a 230 kV.
- **Selección de voltajes del sistema nominal:** Cuando un nuevo sistema debe ser construido o un nuevo nivel de voltaje se introduce en un sistema existente, deben seleccionarse uno o más de los voltajes del sistema nominal recomendado, la opción lógica y económica para un sistema particular entre los voltajes así distinguido dependerá de varios factores, tales como el carácter y el tamaño del sistema.
- **Explicación de rangos de voltaje:** Para cualquier voltaje de sistema nominal específica, el voltaje realmente existente en los varios puntos y en varios momentos en cualquier sistema de potencia, en cualquier grupo de sistemas, en la industria como un todo, generalmente será distribuido dentro de los voltajes máximos y mínimos. El diseño y operación de sistemas de energía y el diseño de equipos a ser suministrados por estos sistemas deben ser coordinados con respecto a estos voltajes, para que el equipo cumpla con las normas de producto en toda la gama de voltajes de utilización real que se encuentran en el sistema. Para promover este objetivo, esta norma establece, para cada voltaje nominal del sistema, dos gamas de servicio voltaje y utilización de variación de voltaje, como rango A y rango B, los límites que figuran en la tabla 3 límites que aplicarán a los niveles de voltaje sostenida y voltaje momentáneo que pueden remitir tales causas como operaciones de switcheo, motor a partir de las corrientes y similares.

c. Aplicación de rangos de voltaje

La gama A - Voltaje de servicio

Sistemas de suministro eléctrico diseñado y operado para voltajes de servicio dentro de los límites especificados para el rango A. La aparición de voltajes de servicio fuera de estos límites debe ser poco frecuente.

La gama A - Voltaje de utilización

Los sistemas de usuario deberán diseñarse y funcionar con voltajes de servicio dentro de los límites de rango A, los voltajes de utilización serán dentro de los límites

especificados para esta gama. El equipo para la utilización será diseñado y preparado para dar un rendimiento plenamente satisfactorio en toda esta gama.

Gama B, Voltajes de servicio y utilización

Incluye voltajes por encima y por debajo de los límites de rango A que resultan necesariamente de diseño práctico y condiciones en los sistemas fuente o usuario, o ambos. Aunque estas condiciones son una parte de las operaciones prácticas, estarán limitadas en alcance, frecuencia y duración. Cuando ocurren, se emprenderá medidas correctivas dentro de un plazo razonable para mejorar voltajes y satisfacer requerimientos de rango A. En la medida posible, cualquier aparato será diseñado para dar un rendimiento aceptable en los extremos de la gama de voltajes de utilización, aunque no necesariamente tan buen rendimiento como en gama A. Debe reconocerse que debido a condiciones fuera del control de la empresa o usuario ó ambos, habrá períodos infrecuentes y limitadas cuando se producirán voltajes sostenidas fuera de los límites de rango B.

El equipo de utilización no puede operar satisfactoriamente bajo estas condiciones, y pueden operar los dispositivos de protección para proteger el equipo. Cuando estos voltajes ocurren fuera de los límites de la gama B, se adoptarán medidas correctivas inmediatamente. La urgencia de dicha acción dependerá de muchos factores, como la ubicación y naturaleza de la carga o circuitos implicados y la magnitud y duración de la desviación más allá de los límites de rango B.

Tabla 3
Sistema nominal de voltajes estándar y rangos de voltaje

VOLTAGE CLASS	Nominal System Voltage			Nominal Utilization Voltage (Note h)	Voltage Range A (Note b)			Voltage Range B (Note b)		
	(Note a)				Utilization and Service Voltage (Note c)	Service Voltage	Utilization Voltage	Utilization and Service Voltage	Service Voltage	Utilization Voltage
	2-wire	3-wire	4-wire							
Low Voltage (Note 1)	120			115	126	114	110	127	110	106
	120/240			115/230	126/252	114/228	110/220	127/254	110/220	106/212
		208Y/120 (Note d) 240/120	200	218Y/126	197Y/114	191Y/110	220Y/127	191Y/110 (Note 2)	184Y/106 (Note 2)	
	240 480 600 800 (Note e)	480Y/277	230	252/126 504Y/291 504 630 575 (Note e)	228/114 228 456Y/263 456 570	220/110 220 440Y/254 440 550	254/127 254 508Y/293 508 550 (Note e)	220/110 212 440Y/254 440 530	212/106 212 424Y/245 424 530	
Medium Voltage	2400	4160Y/2400	2520	4370/2520	2340	2160	2540	2280	2080	
	4160		4370	4050Y/2340	3740Y/2160	4400Y/2540	3950Y/2280	3600Y/2080		
	4800		5940	4050	3740	4400	3950	3600		
	6900		7240	4680	4320	5080	4560	4160		
		8320Y/4800	8730Y/5040	8110Y/4680	(Note f)	8800Y/5080	7900Y/4560	(Note f)		
		12300Y/6900	12600Y/7270	11700Y/6760		12700Y/7330	11400Y/6580			
		12470Y/7200	13890Y/7560	12160Y/7020		13200Y/7620	11850Y/6840			
		13200Y/7620	13860Y/8000	12870Y/7430		13970Y/8070	12504Y/7240			
		13800Y/7970	14490Y/8370	13460Y/7770		14520Y/8380	13110Y/7570			
		13800	14490	13460	12420	14520	13110	11880		
	20780Y/12000	21820Y/12600	20260Y/11700		22000Y/12700	19740Y/11400				
23000	22860Y/13200	24000Y/13860	22280Y/12870	(Note f)	24200Y/13970	21720Y/12540	(Note f)			
34500	24940Y/14400	26190Y/15120	24320Y/14040		26400Y/15240	23690Y/13680				
	34500Y/19920	36230Y/20920	33640Y/19420		36510Y/21080	32780Y/18930				
		36230	33640		36510	32780				
	46000		46300							
	69000		72000							
High Voltage	115000		121000							
	138000		145000							
	161000		169000							
	230000		242000							
	345000		362000							
Extra-High Voltage	400000		420000							
	550000		550000							
	765000		800000							
Ultra-High Voltage	1100000		1200000							

Fuente: (Rada, 2016)

Evaluación de pérdidas en los sistemas de distribución eléctrica

Para evaluar las pérdidas de energía producidas en el sistema Salcedo se ha tomado en consideración la metodología de Mentor Poveda.

Este método utiliza las curvas de carga obtenidos en los medidores electrónicos de la subestaciones, si la energía medida en la subestación al inicio del alimentador primario se la denomina “Energía suministrada” (E_S) y “Energía Registrada” (E_R) a los consumos en las instalaciones propias de la empresa eléctrica suma de la energía facturada, la destinadas al alumbrado público y los consumos en las instalaciones propias de la empresa eléctrica, las “Pérdidas totales” (E_{TL}) en energía resultan de la diferencia entre la “Energía suministrada” y la “Energía registrada”, tal como muestra la ecuación (12), que representan las pérdidas técnicas y no técnicas, cuya magnitud será el dato de partida para la separación de las pérdidas en cualquier punto del sistema eléctrico, (POVEDA, 2014).

$$E_{TL} = E_S - E_R \tag{Ec. 12}$$

Los registradores digitales en la actualidad permiten obtener al mismo tiempo las curvas de demanda y la energía suministrada en los puntos de medición. La curva de

demanda se representa como una matriz con los siguientes vectores – columna: fecha (d), hora (t), demanda de potencia activa (D_P [kW]) y demanda de potencia reactiva (D_Q [kVAR]). El intervalo de demanda normalmente puede ser seleccionado a voluntad del operador, en este caso de 15 minutos. La matriz de registro se muestra en la ecuación (13). El periodo de registro puede ser de hasta un año completo, con vectores columna de 35.040 elementos en total, pero se sugiere utilizar un registro de hasta con 672 datos de una semana completa representativa de cada estación del año.

$$\mathbf{Registro} = \begin{bmatrix} 02/09/2016 & 00:00 & 45,80 & 22,20 \\ 02/09/2016 & 00:15 & 65,41 & 25,50 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 02/09/2016 & 23:45 & 38,50 & 22,30 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Registro} = [d \ t \ D_P \ D_Q] \quad \text{Ec. (13)}$$

La sumatoria del vector D_P multiplicado por el tiempo del intervalo de demanda empleado es la energía de todo el periodo considerado en el registro. Esto se cumplirá solo si se trata de demandas, es decir potencias promedio en cada intervalo, debido a que estas provienen de la integración de las potencias instantáneas, o sea de la misma energía.

La metodología que se sustenta en la naturaleza de cada componente de las pérdidas y en su relación con respecto a la demanda en el intervalo de registro correspondiente. Como las pérdidas en el intervalo de demanda máxima se calculan con los modelos para flujos de carga o a través de la modelación del sistema primario de distribución; sobre la base de esos valores se calcula la magnitud de cada componente para el resto de los intervalos de demanda de todo el periodo considerado, (POVEDA, 2014).

Las pérdidas técnicas en el sistema de distribución de la empresa eléctrica comprenden las pérdidas resistivas de los alimentadores primarios, las pérdidas en los transformadores de distribución (resistiva en los devanados y en el núcleo), las pérdidas resistivas en redes secundarias, las pérdidas resistivas en acometidas y las pérdidas en contadores de energía, (POVEDA, 2014).

Las pérdidas resistivas se calculan con base en la expresión I^2R , en cada subsistema se calculan las pérdidas para demanda máxima de la carga por los métodos usuales y

con esa base se obtienen las pérdidas resistivas en un intervalo dado a través de la relación cuadrática entre la demanda en dicho intervalo y la demanda máxima. El procedimiento descrito se puede aplicar para todas las pérdidas resistivas, es decir, en las líneas de los sistemas de transmisión y distribución, en las líneas primarias, para las pérdidas resistivas de los transformadores de subtransmisión y distribución, para las líneas secundarias y para los conductores de las acometidas.

Para el caso de las pérdidas resistivas en los transformadores de distribución, se puede considerar como primera aproximación la misma curva de demanda registrada al inicio del alimentador primario, cuando no se dispone de registros en los transformadores, (POVEDA, 2014). De la relación entre la demanda máxima de pérdida resistiva ($D_{RL-máx.}$) a demanda máxima de la carga ($D_{Pmáx}$) y de la demanda de pérdida resistiva (D_{RL-i}) a una demanda i cualquiera de la carga (D_{Pi}), permite calcular la pérdida a la demanda i mediante la ecuación (14).

$$D_{RL-i} = \left(\frac{D_{Pi} * \cos\phi_{max}}{D_{Pmax} * \cos\phi_i} \right)^2 * D_{RL-max} \quad \text{Ec. (14)}$$

Esta ecuación se aplica para cada una de las demandas de la carga y se obtiene la curva de demanda de las pérdidas resistivas. El procedimiento resulta correcto porque la demanda es una función escalón en el intervalo; por lo tanto, la relación se cumple durante el intervalo completo y produce como resultado la demanda de pérdida, que es otra función escalón.

Al obtener las demandas de las pérdidas resistivas con la sumatoria de las demandas multiplicado por el tiempo del intervalo de demanda, se encuentra la energía de la pérdida resistiva en el periodo de registro.

d. Regulación CONELEC 004/01

En los últimos años se ha profundizado el problema de la calidad de energía eléctrica debido a la complejidad y a la sensibilidad de los equipos tecnológicos. Por este motivo Instituciones especializadas en el tema, como: Institute of Electrical and Electronic Engineers – IEEE. Internacional Electrotechnical Commission -IEC. Comité Europeo de Normalisation Electrotechnique -CENELEC. The National Electrical Manufacturers Association - NEMA, etc. han desarrollado normativas, estándares y

métodos de medición y construcción de equipos de medición de calidad de energía, perfeccionándolos con el transcurrir del tiempo.

Con base en la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE), en el tercer suplemento del Registro Oficial Nro. 418 de la Asamblea Nacional Constituyente del ECUADOR, se crea el 16 de enero de 2015 la Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, que es el organismo técnico administrativo encargado de regular y controlar las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica y el servicio de alumbrado público general, precautelando los intereses del consumidor o cliente final, en beneficio de la ciudadanía ecuatoriana, que promueve su prestación con alta calidad, precios justos y responsabilidad socio ambiental.

Antes de la creación de ARCONEL, existió el consejo nacional de electricidad CONELEC, cuyas resoluciones y regulaciones han sido ratificadas por ARCONEL, específicamente la regulación 004/01 que describe la calidad de servicio eléctrico, regulación que debe ser cumplida por las empresas eléctrica que presten servicio de energía eléctrica en todo el país.

En la regulación 004/01 ARCONEL dispone a las empresas distribuidoras cumplir lo siguiente:

- Las disposiciones que constan en el artículo 12 del Reglamento de Suministro del servicio de electricidad,
- Efectuar registros del factor de potencia en cada mes, en el 2% del número de Consumidores servidos en AV y MV. Las mediciones se harán mediante registros en períodos de 10 minutos, con régimen de funcionamiento y cargas normales, por un tiempo no menor a siete (7) días continuos, (ARCONEL, Regulación N° CONELEC - 004/01, 2016).

e. Nivel de voltaje

Los niveles de voltaje varían a lo largo de la línea de transporte de los alimentadores primarios, la variación de voltaje debe mantenerse dentro de los límites permitidos por la regulación establecida en el CONELEC 004/01:

$$\Delta V_k (\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} * 100 \quad \text{Ec. (15)}$$

Fuente: (ARCONEL, Regulación N° CONELEC - 004/01, 2016).

Donde:

- ΔV_k : variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.
- V_k : voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.
- V_n : voltaje nominal en el punto de medición.

Se define la calidad de voltaje como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidos con relación al voltaje nominal y expresado en porcentaje, en los diferentes niveles de voltaje. La variación de voltaje admitido con respecto al valor del voltaje nominal se señala en la tabla 4:

Tabla 4
Variaciones de voltaje admitidas

	SUBETAPA 1	SUBETAPA 2
ALTO VOLTAJE	± 7,0 %	± 5,0 %
MEDIO VOLTAJE	± 10,0 %	± 8,0 %
BAJO VOLTAJE ZONAS URBANAS	± 10,0 %	± 8,0 %
BAJO VOLTAJE ZONAS RURALES	± 13,0 %	± 10,0 %

Fuente: (ARCONEL, Regulación N° CONELEC - 004/01, 2016)

El distribuidor debe realizar mensualmente un registro de voltaje en cada uno de los siguientes puntos de medición:

- 20% de las barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV, no menos de 3.
- 0,15% de los transformadores de distribución, no menos de 5.
- 0,01 % de los consumidores de bajo voltaje del área de concesión, no menos de 10.

f. Factor de potencia

Es un indicador cualitativo y cuantitativo del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica. También se puede decir que el factor de potencia es un término

utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo, (ARCONEL, Regulación N° CONELEC - 004/01, 2016).

Para la evaluación de la calidad de energía, respecto al factor de potencia, se establece los siguientes criterios

- El valor mínimo es de 0,92.
- Si en el 5% o más del período evaluado, el valor del factor de potencia es inferior a los límites, el consumidor está incumpliendo con el índice de calidad, (ARCONEL, Regulación N° CONELEC - 004/01, 2016).

g. Límites de operación en los puntos de entrega

El ARCONEL conjuntamente con el CENACE consideró aspectos técnicos debido a la entrada en operación de la Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair y el sistema de transmisión Coca Codo Sinclair – San Rafael – El Inga a 500kV, el 24 de marzo de 2016 generó un informe que estableció límites de bandas de variación de voltaje en barras y factor de potencia en los puntos de entrega del Sistema Nacional de Transmisión.

Límites de voltaje: En la tabla 5 se observa los límites de voltaje que se puede tener tanta inferior como superior.

Tabla 5
Límites de variación de voltaje para la operación del S.N.I.

Voltaje	Inferior		Superior	
	Normal	Emergencia	Normal	Emergencia
500 kV	-5%	-8%	5%	7%
230 kV	-5%	-7%	5%	6%
138 kV	-5%	-10%	5%	6%
69 y 46 kV	-3%	-5%	4%	6%

Fuente: (ARCONEL, Regulación N° CONELEC - 004/01, 2016)

Factor de potencia: El valor límite para una subestación o puntos de entrega del Sistema Nacional Interconectado del factor de potencia se estableció en 0,96 inductivo o superior inductivo para condiciones de demanda máxima, media y mínima.

2.3 Fundamentación conceptual

2.3.1 Sistema de distribución de ELEPCO S.A.

a. Introducción

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. tiene como objeto prestar el servicio público de electricidad en su área de concesión de 5.556 km² que corresponde a toda la Provincia de Cotopaxi. Las Instituciones que le precedieron fueron los Servicios Eléctricos Municipales y el Sistema Eléctrico Latacunga. Durante la presencia de estas instituciones su infraestructura técnica fue muy limitada y sus redes se encontraban alejadas del cantón La Maná que se encuentra situado en el sector occidental de la Provincia, por lo que la Empresa Eléctrica EMELGUR electrificó a la ciudad de La Maná y a varios de sus recintos adyacentes como son: Chipe Hamburgo, El Toquilla, Tres Coronas, Manguila y San Pablo. En Julio del 2010 se inauguró la subestación La Maná de propiedad de ELEPCO S.A. para brindar el servicio eléctrico a los cantones de Pangua y La Maná. A partir del mes de marzo, la subestación La Maná sirve con energía eléctrica a la Ciudad de La Maná y sus alrededores y pasa a formar parte de ELEPCO S.A.

La Empresa Eléctrica Ambato E.E.A.S.A. brinda servicio en el extremo sur de la Provincia de Cotopaxi en el sector de Cunchibamba y La Empresa Eléctrica Quito E.E.Q. en el extremo norte. Las Parroquias de Palo Quemado y Las Pampas pertenecientes al Cantón Sigchos ubicadas en los confines Nor Occidentales de Cotopaxi son electrificadas por la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL) Santo Domingo de los Tsáchilas.

b. Área de concesión

La Empresa Eléctrica Cotopaxi como proveedora de energía eléctrica tiene la autorización de proveer de energía a toda la Provincia de Cotopaxi. Desde el año de 1978 se inicia la expansión del sistema, en forma planeada y progresiva fue extendiendo las redes eléctricas, actualmente ha rodeado las redes de las empresas eléctricas adyacentes imposibilitando su avance.

ELEPCO S.A., para la distribución y comercialización de la energía eléctrica tiene la concesión de los siguientes cantones de la provincia que son:

- Latacunga
- Salcedo
- Pujilí
- Saquisilí
- Sigchos
- Pangua
- La Maná

En cumplimiento de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico del Ecuador, se reunieron todas las Empresas Eléctricas del país para fijar los límites de sus áreas de concesión en el mes de Octubre de 1998 en las instalaciones de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, ex-CONELEC, se firmó el acta de Límites de ELEPCO S.A. siendo el área de concesión tal como se indica en la figura 5, (Terán, 2012). En el **ANEXO A** se observa el diagrama unifilar de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.



Figura 5. Área de concesión

Fuente: (ARCONEL, Geoportal Estadístico, 2001)

c. Fuentes de suministro de energía eléctrica

La Empresa Eléctrica de Cotopaxi cuenta con dos fuentes de suministro de energía eléctrica que son:

- Generación propia
- Nodos del S.N.I.

Estos se encuentran localizados en las subestaciones Ambato a un nivel de voltaje de 69 kV, Mulaló a 138/69 kV y Quevedo a 69kV. Aportando, tanto en potencia y energía a la demanda eléctrica generada en ELEPCO S.A., además, transfieren la estabilidad eléctrica necesaria para que el sistema opere correctamente.

- **Generación local**

El sistema de generación de ELEPCO S.A. se encuentra conformada por siete centrales eléctricas en las que cinco, son Centrales Hidroeléctricas y las otras dos son Centrales Fotovoltaicas.

A continuación, se detalla las Centrales Eléctricas existentes:

Illúchi 1 e Illúchi 2: se encuentran ubicadas en la Parroquia Juan Montalvo a unos 9 Km. desde la Ciudad de Latacunga.

Catazacón: se encuentra ubicado en la Parroquia Moraspungo del Cantón Pangua.

El Estado: se encuentra ubicada en la Parroquia el Tingo del Cantón La Maná.

Angamarca: se encuentra ubicada en el sector del Shuyo perteneciente al Cantón Pujilí. (Terán, 2012).

Fotovoltaica: estas dos centrales utilizan energía del sol considerada una energía renovable, se encuentran ubicadas en el sector de Mulaló, fueron incorporadas al Sistema Nacional Interconectado.

La capacidad instalada disponible de estas siete centrales para la generación de energía eléctrica es de 17.2 MVA. Se debe indicar que la Central Angamarca realiza la operación de su sistema de manera separada con respecto al sistema eléctrico de

ELEPCO S.A., en la tabla 6 se muestra las características de las centrales de generación de ELEPCO S.A. (Terán, 2012).

Tabla 6
Características de las centrales de generación de ELEPCO S.A.

CENTRAL	ILLUCHI 1	ILLUCHI 2	EL ESTADO	CATAZA-CON	ANGAMARCA	MULÁLO	PASTOCALLE
GENERACIÓN	HIDRÁULICA	HIDRÁULICA	HIDRÁULICA	HIDRÁULICA	HIDRÁULICA	SOLAR	SOLAR
CAPACIDAD (KVA)	5244	6500	2125	1000	375	1000	1000
VOLTAJE (V)	2400	2400	4160	440	4160	0,36	0,36
FRECUENCIA (Hz)	60	60	60	60	60	60	60
FACTOR DE POTENCIA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,98	0,98
AÑOS DE ESTAR EN SERVICIO	1951	1979	1986	1991	1994	2014	2014
OBSERVACIONES	Inter. al Sistema	Inter. al Sistema	Inter. al Sistema	Inter. al Sistema	Aislado sist.	Inter. al Sistema	Inter. Al Sistema

Fuente: (Saavedra, 2011)

- **Nodos del S.N.I**

El sistema de ELEPCO S.A. se conecta al Sistema Nacional Interconectado (S.N.I) por medio de cuatro nodos:

Dos nodos situados en la subestación Mulaló a 138kV y 69kV.

Un nodo ubicado en la subestación Ambato a 69kV.

Un nodo se encuentra reflejado en la subestación Quevedo a 69kV.

La subestación Mulaló se encuentra situado cerca al centro de carga y suministra energía a las subestaciones La Cocha, San Rafael, El Calvario, Lasso, Sigchos, Pujilí y Novacero; con flujo de potencia la cual equivale al 62,7% de la energía eléctrica disponible, se encuentra conectada a la línea de transmisión Pucará-Santa Rosa con un nivel de voltaje de 138 kV. Cuenta con un transformador de 50/63 MVA, con la que reduce el voltaje de los 138 kV a 69 kV, y dispone de regulación automática bajo carga, (Terán, 2012).

El nodo localizado en la subestación Ambato, se encuentra interconectada con la línea de transmisión Pisayambo – Totoras a 138 kV, cuenta con dos transformadores de 33/44 MVA, que reduce el voltaje de 138 kV a 69 kV y no dispone de regulación automática bajo carga. Suministra energía a las subestaciones Fairis, Salcedo y Holcim y actualmente tiene una subestación de emergencia en la línea de 69kV en el sector de Yambo prevista para futuras acciones de control como transferencia de carga desde la subestación Salcedo por desastre natural o crecimiento de carga.

El último nodo está ubicado en la subestación Quevedo, físicamente está colocado en la central de generación Enermax (Calope – La Maná), abasteciendo de energía a la nueva subestación La Maná, (Saavedra, 2011)

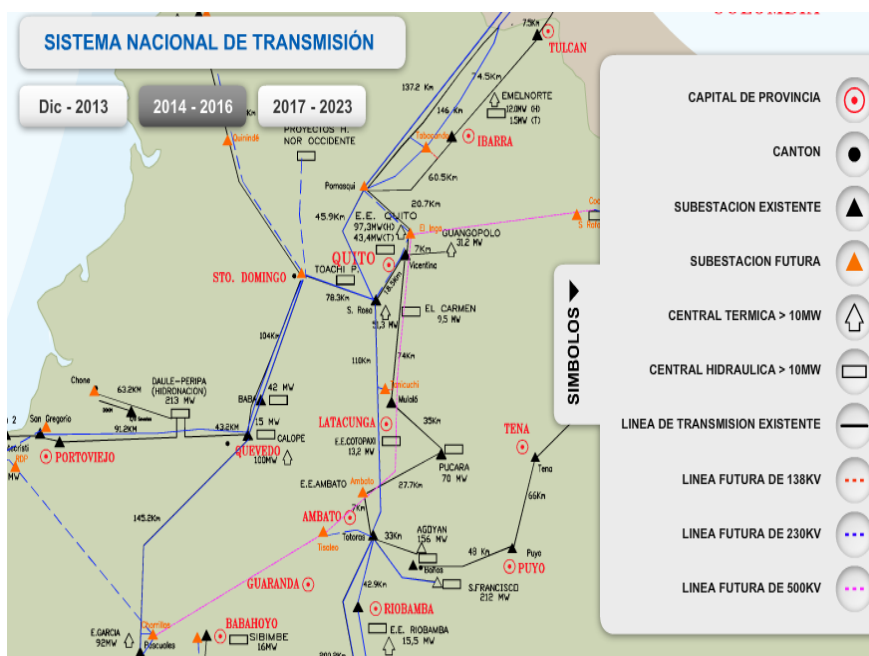


Figura 6. Nodos del Sistema Nacional Interconectado
FUENTE: (CELEC, 2014)

d. Sistema de Subtransmisión

El sistema de subtransmisión de ELEPCO S.A. permite llevar la energía eléctrica desde sus fuentes de suministro (centrales de generación y nodos S.N.I.) hasta sus centros de carga o subestaciones, mediante líneas eléctricas con niveles de voltaje que van desde 13.8 kV hasta 69 kV, bajo un esquema eléctrico de tipo radial.

- Sistema SALCEDO: Está constituido por las subestaciones Salcedo, planta industrial de la fábrica FAIRIS y HOLCIM y se conecta al S.N.I. en la barra

de 69 kV de la subestación Ambato de EP TRANSELECTRIC, ver **ANEXO B**.

- Sistema MULALÓ: Está constituido por las subestaciones Mulaló, Lasso, Sigchos, Familia, La Cocha, Centro de Rehabilitación Social (CRS), San Rafael, Pujilí y El Calvario. A este sistema también se conectan las centrales hidroeléctricas Illúchi 1 e Illúchi 2. con el S.N.I. está conectado en la barra de 69kV de la subestación Mulaló de EP TRANSELECTRIC.
- Sistema LA MANÁ: Está constituido por la subestación La Maná. A este sistema se conectan las centrales hidroeléctricas Catazacón y El Estado de ELEPCO S.A. y la central Calope de ENERMAX. Se conecta al S.N.T. en la barra de 69 kV de la subestación Calope de Energía y está reflejada a la S/E Quevedo de EP TRANSELECTRIC.

El sistema de subtransmisión tiene varios niveles de voltaje que van desde los 13.8kV hasta los 69kV, con distancias relativamente cortas. Estos valores se indican detalladamente en la tabla 7, (Saavedra, 2011).

Tabla 7
Características del sistema de subtransmisión ELEPCO S.A.

TRAMO	VOLTAJE (kV)	CONDUCTOR	TIPO	LONGITUD (Km)
AMBATO-FAIRIS	69	300 MCM	Al ACSR	13,37
FAIRIS-SALCEDO	69	300 MCM	Al ACSR	10,21
SALCEDO - SAN JUAN	69	300 MCM	Al ACSR	10,78
SAN JUAN – HOLCIM	69	300 MCM	Al ACSR	0,695
MULALÓ- LASSO	69	266,8 MCM	Al ACSR	6,49
LAIGUA – MULALÓ	69	266,8 MCM	Al ACSR	8,19
SAN RAFAEL - PUJILÍ	69	266,8 MCM	Al ACSR	7,05
SAN JUAN – SAN RAFAEL	69	300 MCM	Al ACSR	1,34
SAN RAFAEL – LAIGUA	69	266,8 MCM	Al ACSR	10,14
LAIGUA - LA COCHA	69	266,8 MCM	Al ACSR	6,44
LASSO-SIGCHOS	69	266,8 MCM	Al ACSR	37,91
EL CALVARIO-ILLUCHI 2	13,8	477 MCM	Al ACSR	7,65
EL CALVARIO-ILLUCHI 1	22	2 AWG	Cu	9,46

CONTINÚA



CALOPE – LA MANÁ	69	400 MCM	ACAR	5,56
LASSO - SIGCHOS	69	266,8 MCM	AI ACSR	33,6

e. Subestaciones de Distribución

Sistema de distribución primario

En la actualidad el sistema de distribución primario cuenta con todos sus alimentadores de tipo radial a un nivel de voltaje de 13.8kV.

A continuación, se realiza una descripción de cada una de las nueve subestaciones de ELEPCO S.A.

Subestación Salcedo

Esta subestación tiene una capacidad instalada de 10/12 MVA y tiene cuatro alimentadores a un nivel de voltaje de 13.8 kV.

1. Norte Oriente de Salcedo.
2. Centro de Salcedo.
3. Sur Oriente.
4. Occidente de Salcedo.

Principales características:

- Ubicación: Sector occidental del Barrio Rumipamba del Cantón Salcedo
- Altura de localización: 2760 msnm.
- Número de transformadores: 1
- Voltaje AV: 69 kV
- Voltaje BV: 13.8 kV
- Potencia Instalada: 10/12.5 MVA
- Demanda máxima: 11.3 MW
- Factor de Potencia: 0,96
- Número de Tap´s del Transformador: 5
- Número de Alimentadores que salen de la S/E: 4.

En la tabla 8 se detalla las principales características técnicas que tiene el Transformador de Potencia de la subestación Salcedo.

Tabla 8
Datos del transformador de potencia de la S/E Salcedo

MARCA		PAWELS		
LUGAR DE FABRICACIÓN		BÉLGICA		
AÑO DE FABRICACIÓN		1999		
NORMAS		IEC 76		
CAPACIDAD		12.5 MVA		
ENFRIAMIENTO		ONAN/ONAF-80/100 %		
FRECUENCIA		60 HZ		
FASES		3		
NIVEL DE AISLAMIENTO		LI350 AC 140		
GRUPO DE CONEXIÓN		DYN1		
CONMUTADOR		SIN VOLTAJE		
		ASP FII-150A - 60 KV		
ELEVACIÓN DE TEMPERATURA DEL ACEITE		55 K		
ELEVACIÓN DE TEMPERATURA BOBINADOS		55 K		
ACEITE		IEC 296		
RESISTENCIA AL VACIO		CUBA: 100%		
		CONSERVADOR: 100%		
		RADIADOR: 100%		
PESO TOTAL		20.8 t		
POS	VOLTAJE		MVA	IMPEDANCIA %
	AT	BT		
1	72450	13800	10	6,61
2	69000	13800	10	6,47
3	65550	13800	10	6,75
ALTO VOLTAJE TERMINALES: 1U-1V-1W				
POS	VOLTIOS	AMPERIOS	MVA	CONEXIÓN CONMUTADOR
1	72450	99,6	12,5	5 – 6
2	70725	102	12,5	6 - 4
3	69000	104,6	12,5	4 – 7
4	67275	107,3	12,5	7 – 3
5	65550	110,1	12,5	3 – 8
BAJO VOLTAJE TERMINALES: 2U-2V-2W				
VOLTIOS		AMPERIOS		MVA
13800		523		12.5

FUENTE: (Basantes, 2010)

Subestación San Rafael

Esta subestación tiene una capacidad instalada de 16/20 MVA. Tiene cinco alimentadores con un nivel de voltaje de 13.8 kV.

1. Brigada Patria – La Calera.
2. Santa Rosa Pichul – 11 de Noviembre.
3. El Niagara.
4. Interconexión S/E El Calvario con S/E San Rafael.
5. De reserva.

Subestación el Calvario

Esta subestación tiene una capacidad instalada de 1x4/5.2 MVA (T2), y tiene cuatro alimentadores con un nivel de voltaje de 13.8 kV.

1. Oriental.
2. Industrial Sur.
3. Redes Subterráneas Sur Latacunga.
4. Latacunga Sur.

Subestación la Cocha

Esta subestación tiene una capacidad instalada de 16/20 MVA, tiene cinco alimentadores con un nivel de voltaje de 13.8 kV.

1. Yugsiloma – San Buenaventura.
2. Interconexión con la S/E El Calvario.
3. Redes Subterráneas Norte Latacunga.
4. Base Aérea Cotopaxi.
5. Latacunga Norte Aláquez.

Subestación Mulaló

Tiene una capacidad instalada de 10/12.5 MVA con cinco alimentadores de distribución a un nivel de voltaje de 13.8 kV. De los cuales dos de sus alimentadores son de reserva.

1. Industrial Lasso Mulaló.
2. Saquisilí – Guaytacama.

3. De reserva.
4. Oriente – subestación Provefrut.
5. De reserva.

Subestación Lasso

Esta subestación tiene un transformador de 16/20 MVA, de los cuales se derivan seis alimentadores a un nivel de voltaje de 13.8 kV.

1. Pastocalle – Toacazo.
2. Rio Blanco Bajo – Tanicuchí.
3. San Agustín – El Chasqui.
4. Lasso Centro y Sur.
5. ACOSA.
6. Familia SANCELA.

Subestación Sigchos

La subestación Sigchos tiene una capacidad instalada de 5 MVA. Esta subestación posee dos alimentadores que abastece a todo el cantón Sigchos.

1. Centro de Sigchos – Chugchilán.
2. Yaló – Las Manzanas, San Francisco.

Subestación Pujilí

La subestación Pujilí tiene un transformador de 5 MVA y un alimentador a un nivel de voltaje de 13.8kV.

1. Pujilí Centro – Alpamalag.

Subestación La Maná

La subestación La Maná tiene un transformador de 10/12.5 MVA tiene cuatro alimentadores a un nivel de voltaje de 13.8 kV y un alimentador de reserva.

1. La Maná – Catazación, Moraspungo.
2. La Maná – El Estado, Guasaganda.
3. La Maná Centro.
4. Chipe Hamburgo.
5. De reserva.

Sistema de Distribución Secundaria

El sistema de distribución secundario es mayoritariamente radial, con puntos específicos en donde se encuentran mallada la red secundaria de un mismo transformador. Los transformadores trifásicos suministran energía a una red trifásica a 4 hilos 220/127V, los transformadores monofásicos a una red monofásica a tres hilos 240/120V.

Desde el año 2008 se utiliza cable pre ensamblado obteniendo excelentes resultados al disminuir las pérdidas no técnicas, y los cortes de energía por cortocircuitos.

2.4 Fundamentación Legal

- Plan de desarrollo de electrificación
- Plan Nacional del Buen Vivir
- Regulación CONELEC 004/001
- Norma internacional ANSI C84.1
- ARCONEL ELEPCO S.A.

2.5 Sistema de variables

2.5.1 Definición nominal

Nivel de Voltaje.

2.5.2 Definición conceptual

El Nivel de voltaje se determina como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidos cada 10 minutos, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles. (ARCONEL, Regulación N° CONELEC - 004/01, 2016).

2.5.3 Definición operacional

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi en el Cantón Salcedo presenta la necesidad de mejorar las condiciones de servicio a nivel de distribución primario en los distintos alimentadores pertenecientes a la empresa distribuidora.

Se puede decir que existe un problema de calidad de la energía eléctrica cuando ocurre cualquier desviación del voltaje, la corriente o la frecuencia que provoque la mala operación de los equipos de uso final y deteriore la economía o el bienestar de los clientes; asimismo cuando ocurre alguna interrupción del flujo de energía eléctrica, (UPME, 2016).

2.6 Modelo eléctrico

Se hace necesario representar cada elemento del sistema de potencia por su respectivo modelo matemático equivalente. Es importante mencionar que se pueden utilizar modelos equivalentes sencillos, cuando los cálculos lo permitan, debido a que no reviste ninguna ventaja en utilizar una representación exacta de los elementos del sistema, cuando las cargas solo se conocen con una exactitud limitada. Análogamente los modelos exactos y complejos solo se limitan para objetivos muy especializados, donde la exactitud es clave, como en los estudios de estabilidad. Es frecuente en los estudios de flujo de carga, desprestigiar la resistencia con solo una pequeña pérdida de exactitud y un ahorro inmenso de cálculos.

- **Generadores:** Comúnmente en los estudios de flujo de carga se representarán como fuentes P-V o Slack. Los Generadores se suelen representar por el voltaje interno en serie con la impedancia equivalente de secuencia directa.
- **Líneas de Transmisión:** Las líneas de transporte poseen un modelo equivalente que depende de la longitud de la línea de transmisión; así las líneas cortas, cuya longitud es menor a 80 km se representa a través de una reactancia única en serie; en cambio las líneas de transmisión largas de longitudes mayores a 320km, por lo general se modelan por un circuito Pi equivalente.
- **Transformadores:** En los estudios de flujo de carga es común representar el transformador por medio de su reactancia de cortocircuito en serie con un transformador ideal que toma en cuenta la posición del cambiador de tomas. En el caso del transformador de tres devanados en el que el terciario no tiene carga o posee una carga muy baja también se representa por la impedancia de cortocircuito, (Gonzales, 2006).

2.6.1 Flujos de potencia

La planificación, diseño y operación de sistemas de potencia requiere de tales cálculos para analizar el rendimiento en régimen permanente del sistema de potencia bajo variedad de condiciones operativas y a estudiar los efectos de cambios de configuración y equipos. Las soluciones de flujo de potencia son realizadas usando programas de computadoras diseñados específicamente para este propósito. Los sistemas de potencia son complejos y poseen muchas partes o ramales sobre los cuales se producen flujos de potencia, tales sistemas forman partes en serie y paralelo.

El flujo de potencia eléctrica en esas redes se divide entre los ramales mientras un balance es logrado de acuerdo a las leyes de Kirchhoff. Los programas computacionales para resolver estos flujos de potencias son divididos en dos tipos estáticos (Off-Line) y dinámica (tiempo real). La mayoría de los estudios de flujo de potencia están basados en modelos estáticos de redes. El flujo de potencia trifásico es posible analizarlo con softwares, pero esto no es normalmente necesario en estudios rutinarios de sistemas de potencia.

Un cálculo de flujo de potencia determina el estado del sistema de potencia para cada carga dada y una distribución de generación, este representa una condición de régimen permanente como si esta condición ha sido mantenida por algún tiempo, en la realidad en líneas el voltaje de las barras fluctúa constantemente por valores pequeños debido a que las cargas cambian como iluminación, motores y otras cargas que son encendidas y pagadas, (Gonzales, 2006).

2.6.2 Software CYMDIST

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



Figura 7. Programa CYMDIST
Fuente: (CYME, 2014)

El software permite efectuar:

- Distribución y evaluación de cargas.
- Flujo de carga y caída de voltaje.
- Pérdidas del sistema.
- Cálculo de cortocircuito.
- Dimensionamiento y ubicación óptima de condensadores.
- Balance, distribución y evaluación de cargas.
- Análisis y simulación del comportamiento de reguladores de voltaje.
- Análisis de flujo de carga con perfiles.
- Análisis de crecimientos de carga repartidos en varios años.
- Análisis de transferencias entre alimentadores.
- Configuración óptima de la red.
- Administrador avanzado de proyectos y planificador de redes.
- Modelación de la generación distribuida.
- Análisis de confiabilidad (Predictiva e histórica).
- Modelación de subestaciones y de subredes. (Sig, 2016).

Se ha visto la necesidad de adquirir un software de Ingeniería Eléctrica que permita realizar estudios de flujos de potencia para mejorar las redes de 13.8kV, los circuitos secundarios y las redes de subtransmisión, la compañía CYME International T&D proporciona a la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. las licencias del software CYMDIST.

CYMDIST es un programa útil en el análisis de Ingeniería Eléctrica que permite realizar varios análisis, en el presente estudio se utilizará los módulos de distribución de carga y flujos de carga para el diagnóstico. Cymdist utiliza Microsoft Acces para crear bases de datos que se interconectan con los archivos creados o existentes en el Cymdist, aquí se puede generar memorias con distintos tipos de conductores, fuentes, y todo tipo de equipos eléctricos que tiene este programa de ingeniería en su librería.

Por medio del ARCGIS se puede transportar datos y diagramas hasta Cymdist, al momento de realizar esta acción los archivos generados por ARCGIS no son totalmente completos por lo que se debe generar los diagramas en el espacio de Cymdist para evitar errores de diseño y flujos de potencia.

Para determinar las caídas de voltaje se utilizará el software CYMDIST en donde se realizará los flujos de potencia, previamente se ingresará los parámetros generales para el estudio:

Tabla 9
Parámetros para determinar caídas de voltaje

PARÁMETROS	VALOR	UNIDADES
Frecuencia del Sistema	60	Hz
Potencia de Base	100	MVA
Voltaje de Base	13800	V
Temperatura Exterior	25	°C
Resistividad promedio de la Tierra	60	Ohmios – m
Resistencia del Conductor	25	°C
Numero de Iteraciones	100	
Precisión	0,1	% (V)

Seleccionar el módulo de distribución de carga:

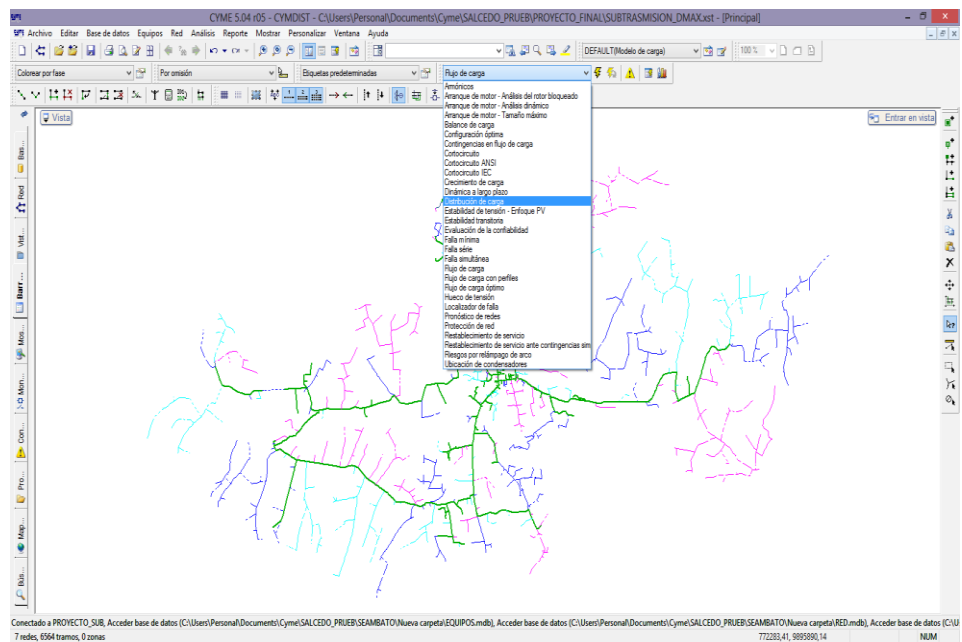


Figura 8. Módulo de distribución de carga en el programa CYMDIST

Aquí se ingresará las demandas de los tres casos de estudio para todos los alimentadores, cabe señalar que se tomará los valores de demanda máxima para realizar el diagnóstico pues es el caso de peor condición en cuanto a voltajes y factor de potencia.

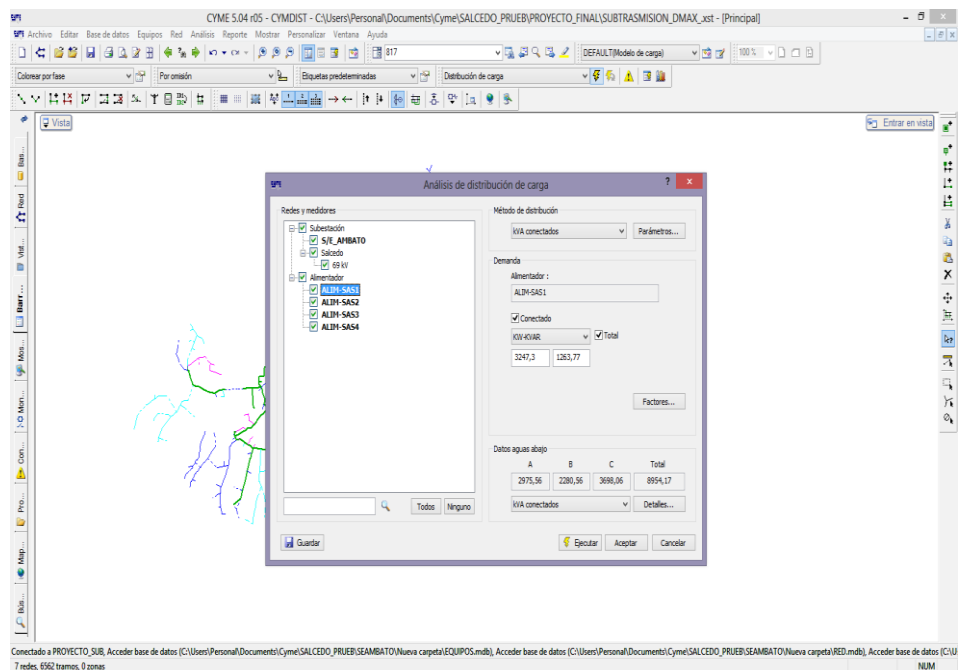



Figura 9. Distribución de carga en el programa CYMDIST

2.7 Hipótesis

Diagnóstico y análisis técnico de los parámetros eléctricos en los alimentadores primarios de la subestación Salcedo permitirá realizar un proyecto de mejoramiento de los niveles de voltaje.

2.8 Cuadro de operacionalización de las variables

Objetivo General: Diagnosticar y analizar los parámetros eléctricos entre la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. y la conexión con el punto frontera AMBATO, para mejorar el nivel de voltaje.			
Objetivos Específicos	Variable	Dimensiones	Indicadores
Obtener un inventario topológico de las redes, equipos de transformación, cables, distancias, número y consumo de clientes de energía eléctrica conectado en los alimentadores en ARCGIS y en CYMDIST.	Calidad de Voltaje	Inventario topológico	Utilizar la red topológica para los análisis de nivel de voltaje y factor de potencia.
Evaluar las variables eléctricas en las salidas de los alimentadores y en cargas representativas utilizando registradores digitales.		Mediciones	Realizar mediciones de las Variables Eléctricas en los Alimentadores
Realizar un diagnóstico técnico eléctrico actual de la subestación Ambato, Salcedo y sus alimentadores.		Diagnostico Técnico Eléctrico	Evaluar los alimentadores primarios y subestaciones del sistema eléctrico
Modelar los alimentadores primarios de la subestación Salcedo, en el software de simulación eléctrica CYMDIST.		Parámetros Eléctricos	Realizar un modelamiento de los alimentadores primarios y subestaciones.
Ajustar la modelación con los datos obtenidos del programa y los datos medidos.		Evaluación de Datos	Confiabilidad y valoración del error en la medición

CONTINÚA 

Establecer alternativas de mejoramiento en el sistema de energía eléctrica.		Alternativas de Mejoramiento del sistema	Mejoramiento en la calidad de energía.
---	--	--	--

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Modalidad de la investigación

3.1.1 Método documental bibliográfico:

Esta investigación utilizará diferentes fuentes bibliográficas para desarrollar una metodología y evaluar el nivel de voltaje en los alimentadores primarios y el factor de potencia en la subestación y en la cabecera de los primarios. Además, se obtendrá la terminología asociada a los parámetros eléctricos necesarios para el análisis.

3.1.2 Método experimental:

Se utilizará este método al adquirir información directamente desde los equipos de campo y desde los medidores de los alimentadores primarios para estudiar las circunstancias actuales de los alimentadores primarios (13.8kV) de la red de subtransmisión (69kV) y realizar un análisis con los datos obtenidos en la modelación de los sistemas y realizar una propuesta.

3.1.3 Método deductivo:

Esta investigación propone una hipótesis que se comprobará en el desarrollo del estudio que se va a realizar y se la podrá comprobar con las herramientas que se pretende utilizar.

3.2 Tipos de investigación

3.2.1 Investigación aplicada:

Esta investigación ayudará a dar una solución al problema planteado en la subestación Salcedo de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi y al punto de entrega en la subestación Ambato.

3.2.2 Investigación descriptiva:

Esta investigación describirá el problema encontrado, las causas posibles y los fundamentos técnicos para proponer las mejoras a los niveles de voltaje y al factor de potencia de la subestación Salcedo y punto de entrega en la subestación Ambato.

3.2.3 Investigación de campo:

Esta investigación determinará los clientes a transferir entre primarios de la subestación Salcedo y hacia la nueva subestación ubicada en el sector de Yambo, así como los sitios en los que se deberá realizar la remodelación de las redes eléctricas.

3.3 Diseño de la investigación

Fundamentalmente esta investigación se basa en una investigación experimental debido a los datos que se obtiene y al tratamiento que se le puede dar para poder realizar un modelamiento y caracterizar una red eléctrica a nivel de subtransmisión y distribución.

3.3.1 Investigación experimental:

Se utilizará una investigación de campo, realizando un análisis de datos de variables no comprobadas, evaluando las variables en las peores condiciones, para describir la causa y la forma en que se produce una situación o acontecimiento particular.

3.4 Niveles de investigación

Esta investigación utilizará un nivel de investigación técnico en la que se realizará las siguientes actividades:

- **Explicar:** que está sucediendo con el sistema eléctrico de subtransmisión y distribución de Salcedo.
- **Predecir:** lo que podría suceder a futuro si no se toman acciones correctivas con respecto al crecimiento de la demanda.
- **Proponer:** soluciones para mejorar la operación de los sistemas eléctricos de potencia de subtransmisión y distribución de Salcedo.

3.5 Población y muestra

De la base de datos que posee ELEPCO S.A., en el software de Georeferenciación ARCGIS, se puede obtener distancias, tipos de transformadores, calibres de conductores, número de luminarias, elementos de control y protección, etc. Los consumos de energía de cada cliente se registran cada mes y se actualiza la información en la base de datos del Departamento Comercial para posteriormente con el Departamento de Planificación se obtenga un flujo de potencia y se vaya determinando mensualmente las variaciones de demanda en cada alimentador.

El sistema Salcedo sirve con energía eléctrica a dos tipos de consumidores: 2 fábricas y una subestación de tipo comercial, pertenecientes a grandes clientes de E.E.A.S.A. y ELEPCO S.A, por lo que el factor de potencia y nivel de voltaje deben ser de calidad debido a la alta actividad comercial e industrial que generan, estas subestaciones son zonas de alta densidad de carga del sistema Salcedo.

3.5.1 Subestación FAIRIS

Dispone de un transformador de potencia de 5 MVA a un nivel de voltaje de 69/13.8kV que se deriva de la línea de subtransmisión de 69 kV para suministrar energía eléctrica a los centros de transformación de la planta industrial de la fábrica FAIRIS, abasteciendo a las cargas conectadas aguas abajo. Se dispone de equipos de medición en el lado de alto voltaje y medio voltaje.

3.5.3 Subestación HOLCIM

Dispone de un transformador de potencia de 7.5/9.3 MVA a un nivel de voltaje de 69/4.16kV que se deriva de la línea de subtransmisión de 69kV para suministrar energía eléctrica a los centros de transformación que dispone la planta industrial de la fábrica HOLCIM, abasteciendo a las cargas conectadas aguas abajo. Se dispone de un equipo de medición en el lado de medio voltaje.

3.5.4 Subestación SALCEDO

Dispone de un transformador de potencia de 10/12.5 MVA a un nivel de voltaje de 69/13.8kV que se deriva de la línea de subtransmisión para energizar los alimentadores

primarios que sirven con energía eléctrica a todo el Cantón Salcedo, la Parroquia Belisario Quevedo y el sector del Niágara de la Ciudad de Latacunga. De la base de datos del ARCGIS se obtuvo la siguiente información de los alimentadores primarios de Salcedo:

a. Alimentador 1 Salcedo Norte Oriente

El alimentador 1 inicia su circuito en la salida 1 del transformador de la subestación Salcedo; es un circuito netamente radial y cubre el Sector Norte - Oriente del Cantón Salcedo de la Provincia de Cotopaxi, siendo en su mayor parte un área definida por varios tipos de clientes como residenciales, comerciales: heladerías, plantaciones florícolas, gasolineras, bodega Coca Cola, ex Calzacuero, industrial artesanal: bloqueras, mecánicas industriales, automotrices, enderezada y pintura, vulcanizadoras, industrial: Curtilán, Embutidora Española, La Finca, Productos Lácteos Mi Ranchito, La Pradera, Construcciones Ulloa.

Las zonas geográficas cubiertas por este alimentador son: Urb. Rumipamba de las Rosas, Tebaida Uno, Tebaida Dos, Rumipamba Universidad, La Cangahua, San Isidro, Salache Grande, Parroquia Belisario Quevedo. Salache Angamarca, Taniloma, Tiobamba, Illuchi, Chaupi, Potrerillos, Chaupi Contadero, Manzanapamba, Urb. Cdla. Empleados Municipales, Pishicapamba, Cdla. Patria, cubriendo una parte del Niagara.



Figura 10. Alimentador 1 Salcedo Norte Oriente

El circuito trifásico llega hasta el sector del Niagara en el que existe un seccionamiento portafusible de tipo abierto para transferir carga, de ser el caso, al alimentador 1 de la subestación San Rafael. Este seccionamiento está ubicado a la altura de la Unidad Educativa “RAMON BARBA NARANJO”, en el poste No. 7362 con la misma numeración para el seccionamiento. En el **ANEXO C**, se presenta los planos del alimentador 1, con la capacidad de los transformadores y calibre de conductor.

Esta troncal trifásica que sirve a todo el sector Norte Oriente del Cantón Salcedo tiene un conductor 3/0AWG en gran parte del recorrido y conductor 2/0AWG, 1/0AWG distintas secciones del alimentador. Para los circuitos monofásicos que se derivan de la troncal trifásica se tiene conectada conductores con calibre 4ACSR, 2ACSR y 1/0AWG. El alimentador 1 tiene 480 transformadores, una longitud de red trifásica de 43 Km y una longitud total de red monofásica de 94,52 Km.

Tabla 10
Características generales del alimentador 1

Característica		Capacidad	Unidad
Nivel de Voltaje		13,8	kV
Longitud	Fase A	22,8	Km
	Fase B	27,8	Km
	Fase C	43,9	Km
	Trifásico ABC	43,0	Km
Transformadores	Monofásicos	391	KVA
	Trifásicos	89	KVA

Tabla 11
Potencia instalada de los transformadores por su tipo - alimentador 1

Tipo	Capacidad	Unidad
Potencia Trifásico:	6995	KVA
Potencia Monofásico A:	3642,5	KVA
Potencia Monofásico B:	1855	KVA
Potencia Monofásico C:	2820	KVA
Potencia total:	15312,5	KVA

Tabla 12
Potencia de los transformadores por su capacidad - alimentador 1

POTENCIA (KVA)	NUMERO TOTAL	POTENCIA INSTALADA (KVA)
5	27	135,0
10	147	1470,0
15	96	1440,0
25	67	1675,0
30	21	630,0
37,5	35	1312,5
45	14	630,0
50	29	1450,0
60	2	120,0
75	16	1200,0
100	11	1100,0
112,5	2	225,0
125	1	125,0
150	1	150,0
200	3	600,0
250	1	250,0
300	1	300,0
375	4	1500,0
500	2	1000,0

b. Alimentador 2 Salcedo Centro

El alimentador 2 inicia en la salida 2 del transformador de la subestación Salcedo, es un circuito netamente radial y cubre el sector Centro del Cantón Salcedo de la Provincia de Cotopaxi, siendo en su mayor parte un área definida por varios clientes residenciales: Municipio del Cantón Salcedo, comerciales: Heladerías, Plantaciones Florícolas, Cooperativa de Ahorro y Crédito San Francisco de Asís Ltda., Hospital de Salcedo, Clínica Central, Clínica San Miguel, Banco del Pichincha, Hostería Rumipamba de las Rosas, C.N.T., Casa Campesina Salcedo.

En el **ANEXO D**, se presenta los planos del alimentador 2, con la capacidad de los transformadores y calibre de conductor. Las zonas geográficas cubiertas por este alimentador son:

Centro urbano del Cantón Salcedo, barrio San Antonio 1, barrio San Antonio 2, barrio El Calvario, Colegio San Francisco de Asís y barrio La Argentina.

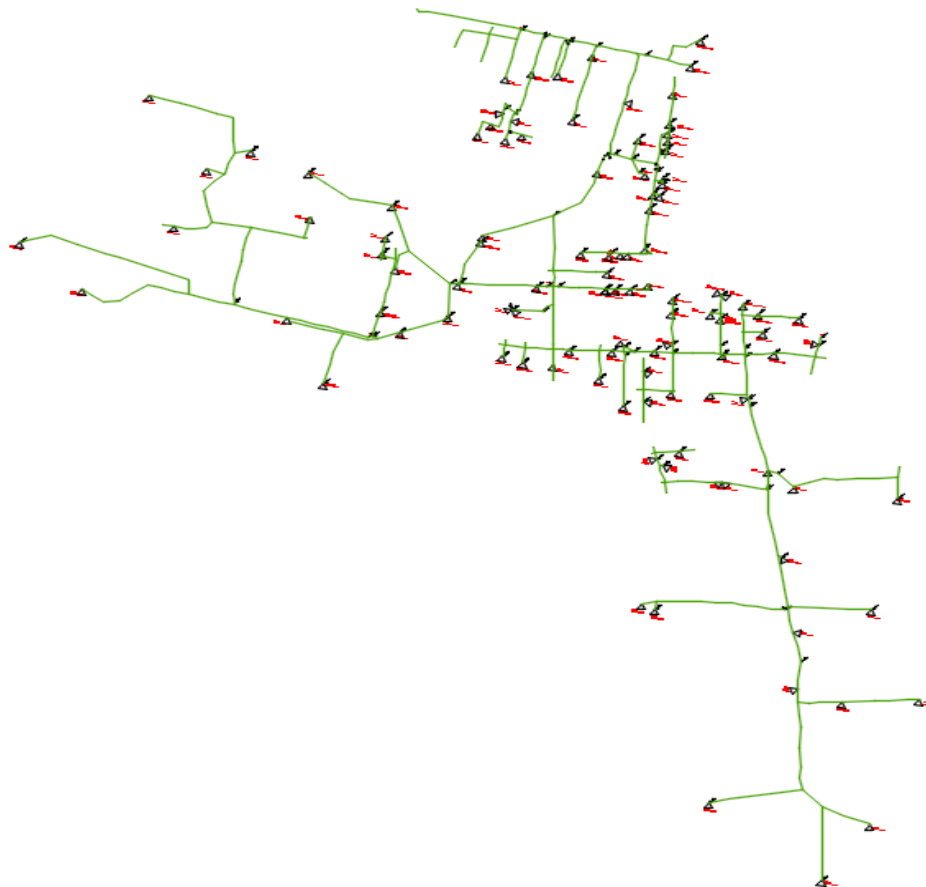


Figura 11. Alimentador 2 Salcedo Centro

El alimentador 2 tiene 102 transformadores, una longitud trifásica de 9,5 Km y una longitud total monofásica de 13,4 Km.

Tabla 13
Características generales del alimentador 2

Característica		Capacidad	Unidad
Nivel de Voltaje		13,8	kV
Longitud	Fase A	5,7	Km
	Fase B	1,3	Km
	Fase C	6,4	Km
	Trifásico ABC	9,5	Km
Transformadores	Monofásicos	64	KVA
	Trifásicos	38	KVA

Tabla 14
Potencia de los transformadores por su tipo - alimentador 2

TIPO	CAPACIDAD	UNIDAD
Potencia Trifásico:	2402,5	KVA
Potencia Monofásico A:	867,5	KVA
Potencia Monofásico B:	425	KVA
Potencia Monofásico C:	562,5	KVA
Potencia total:	4257,5	KVA

Tabla 15
Potencia de los transformadores por su capacidad - alimentador 2

POTENCIA (KVA)	NUMERO TOTAL	POTENCIA INSTALADA (KVA)
5	3	15,00
10	11	110,00
15	17	255,00
25	13	325,00
30	4	120,00
37,5	14	525,00
45	6	270,00
50	16	800,00
75	11	825,00
100	3	300,00
112,5	3	337,50
375	1	375,00

c. Alimentador 3 Salcedo Sur

El alimentador 3 inicia en la salida 3 del transformador de la subestación Salcedo, es un circuito netamente radial y cubre el sector Sur del Cantón Salcedo de la Provincia de Cotopaxi, es un área definida por varios clientes residenciales y el único cliente industrial es la planta envasadora AGIP GAS OIL.

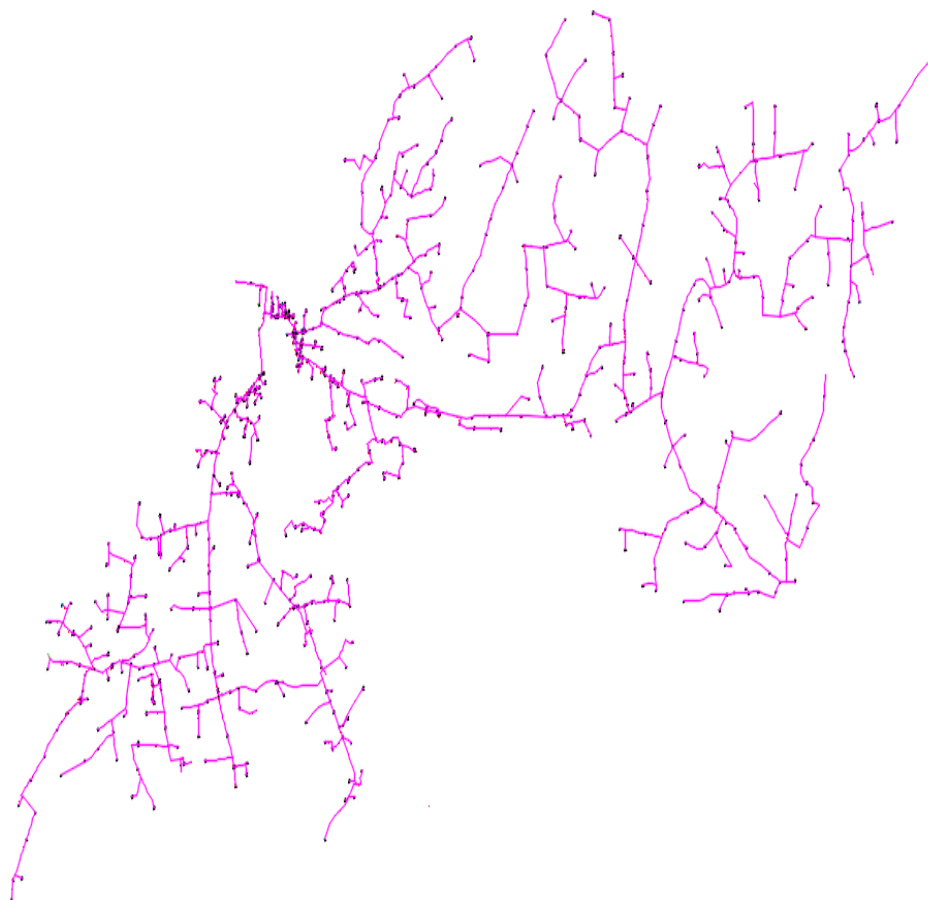


Figura 12. Alimentador 3 Salcedo Sur

Este alimentador se divide en dos ramales para cubrir gran parte de la zona rural del Cantón Salcedo por lo que la red monofásica es extensa. El primer ramal sirve con energía eléctrica a las zonas de San Marcos, Anchilivì, Bellavista, PapaHurcu, Chambapungo, San Gabriel y las zonas más alejadas son Comuna Galpón, Huapante, Comuna Cumbijìn. El segundo ramal sirve con energía eléctrica a las zonas Pataìn, Panzaleo, Santa Lucía, Cuatro Esquinas Guantajulo y zonas aledañas hasta el límite con la Provincia de Tungurahua. Al final del circuito trifásico existe un corte o seccionamiento de red tipo tirafusible No. 33052, en este punto se une al alimentador 4 Salcedo Occidental para posibles maniobras de transferencia de carga.

En el **ANEXO E**, se presenta los planos del alimentador 3, con la capacidad de los transformadores y calibre de conductor. El alimentador 3 tiene 602 transformadores, una longitud trifásica de 55,4 Km y una longitud total monofásica de 197,3 Km.

Tabla 16
Características generales del alimentador 3


Característica		Capacidad	Unidad
Nivel de Voltaje		13,8	kV
Longitud	Fase A	60,8	Km
	Fase B	83,8	Km
	Fase C	52,7	Km
	Trifásico ABC	55,4	Km
Transformadores	Monofásicos	549	KVA
	Trifásicos	61	KVA

Tabla 17
Potencia Instalada de los Transformadores por su tipo - alimentador 3

TIPO	CAPACIDAD	UNIDAD
Potencia Trifásico:	5182,5	KVA
Potencia Monofásico A:	3177,5	KVA
Potencia Monofásico B:	3322,5	KVA
Potencia Monofásico C:	2337,5	KVA
Potencia total:	14020	KVA

Tabla 18
Potencia de los transformadores por su capacidad - alimentador 3

POTENCIA	NUMERO TOTAL	POTENCIA INSTALADA (KVA)
5	53	265,00
10	233	2330,00
15	140	2100,00
25	82	2050,00
30	15	450,00
37,5	23	862,50
45	9	405,00
50	19	950,00
60	1	60,00
75	6	450,00
100	8	800,00
112,5	1	112,50
125	2	250,00
150	1	150,00
160	1	160,00

CONTINÚA 

175	1	175,00
200	1	200,00
250	2	500,00
375	2	750,00
500	2	1000,00

d. Alimentador 4 Salcedo Occidental

El alimentador 4 inicia en la salida 4 del transformador de la subestación Salcedo, es un circuito completamente radial y cubre el sector Occidental del Cantón Salcedo de la Provincia de Cotopaxi, es un área definida por clientes de tipo residencial, Industriales: Florícolas y comerciales: Heladerías.

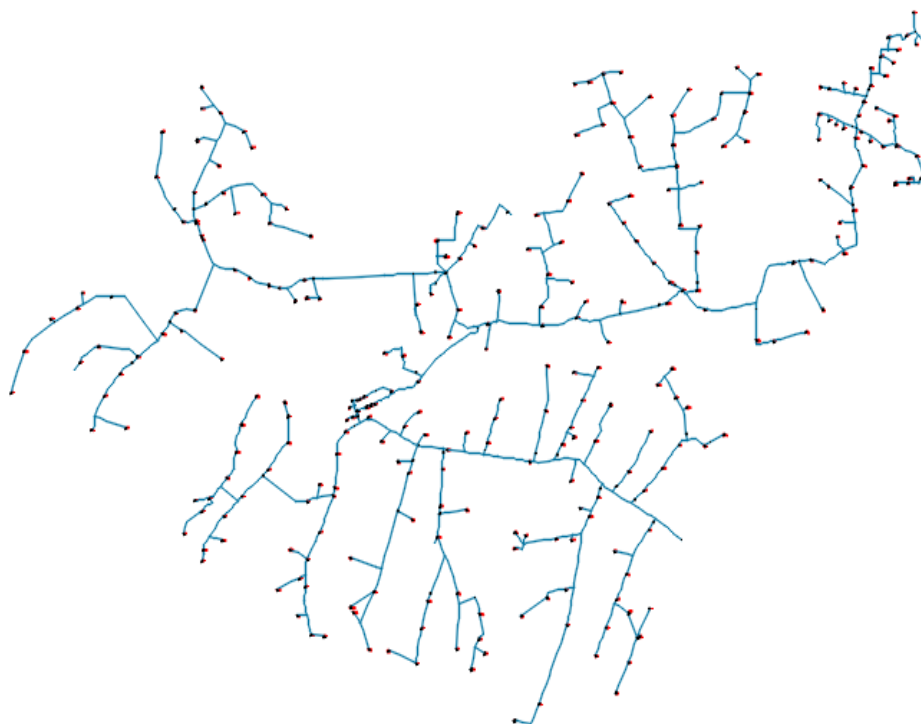


Figura 13. Alimentador 3 Salcedo Sur

Este alimentador sirve gran parte de la zona rural y urbana del Cantón Salcedo, la red trifásica en el punto final tiene un seccionamiento de red tipo tirafusible No. 33052 que fue colocado para futuras maniobras de transferencia de carga con el ramal 2 del alimentador 3 Salcedo Sur debido a la demanda y las distancias que con considerables en estos lugares. Los sectores cubiertos por este alimentador son: Salachillo, Quilajalo, El Relleno, San José de Alpamalag, Cuatro Esquinas, San Gabriel, Buena Esperanza y San Juan, entre otras.

En el **ANEXO F**, se presenta los planos del alimentador 4, con la capacidad de los transformadores y calibre de conductor. El alimentador 4 tiene 290 transformadores, tiene una longitud trifásica de 39,5 Km y una longitud total monofásica de 114,8 Km.

Tabla 19
Características generales del alimentador 4

Característica		Capacidad	Unidad
Nivel de Voltaje		13,8	Kv
Longitud	Fase A	41,7	Km
	Fase B	27,9	Km
	Fase C	45,2	Km
	Trifásico ABC	39,5	Km
Transformadores	Monofásicos	276	KVA
	Trifásicos	14	KVA

Tabla 20
Potencia de los transformadores por su tipo - alimentador 4

TIPO	CAPACIDAD	UNIDAD
Potencia Trifásico:	825	KVA
Potencia Monofásico A:	1032,5	KVA
Potencia Monofásico B:	940	KVA
Potencia Monofásico C:	1047,5	KVA
Potencia total:	3845	KVA

Tabla 21
Potencia de los transformadores por su capacidad - alimentador 4

POTENCIA (KVA)	NUMERO TOTAL	POTENCIA INSTALADA (KVA)
5	47	235,00
10	166	1660,00
15	50	750,00
25	10	250,00
30	6	180,00
37,5	2	75,00
45	1	45,00
50	4	200,00
75	1	75,00
100	1	100,00
125	1	125,00
150	1	150,00

3.6 Técnicas de recolección de datos

3.6.1 Instrumento

a. Probadores de fase para circuitos de distribución

Los probadores de fases marcan HUBBELL modelo 2450, determinan fácilmente las relaciones de fases y los voltajes aproximados entre fases - fase y tierra. Cada probador consiste en dos pértigas de fibra de vidrio con acoples roscados en sus extremos para montar las puntas de prueba intercambiables, lo que las vincula con un componente de alta impedancia encapsulado en cada pértiga. Para completar el circuito de prueba, hay un cable aislado flexible de 22 pies en un carrete fijado a una pértiga, que se conecta con el voltímetro en la otra pértiga.

Las pértigas se fijan primero en dos mangos universales aislantes de epoxiglas de 6 pies de largo (incluidos en cada juego para suministrar la distancia de seguridad). Luego, las puntas de prueba pueden conectarse con los conductores a medir de manera que el medidor tome lectura del voltaje entre fases o entre fase y tierra.



Figura 14. Probadores de fase
Fuente: (SYSTEMS, 2011)

Al trabajar en diferentes sistemas, el conmutador de las unidades de rango doble puede cambiar el alcance de las dos escalas del medidor. También permite leer mejor los valores menores en la escala Hi (alta). Al cambiar a la escala Low (bajo), estos valores desvían más la aguja dando lecturas más precisas.

b. Medidor digital ION – 8600

En la subestación de Fairis registra los datos un medidor tipo ION – 8600 del que se puede tomar todos los registros necesarios para realizar los análisis propuestos en esta investigación. En la subestación Holcim se tiene un medidor ION – 8500 de similares características. Las herramientas necesarias para suministro energético son utilizadas en las subestaciones para registrar diferentes parámetros eléctricos como nivel de voltaje, factor de potencia, armónicos, corrientes, potencia activa, potencia reactiva, etc.



Figura 15. Medidor ION – 8600
Fuente: (Burgos, 2012)

Tiempo de uso

Medidores de la serie ION 8600 ofrecen una completa medición del tiempo de uso (TOU), adaptable, prácticamente, a cualquier estructura de tarifas de suministros. Pueden registrar automáticamente los valores TOU en intervalos especificados por el cliente, en fechas y horas predeterminadas o en el momento de producirse eventos internos y externos. Los registros TOU pueden reconfigurarse manualmente (protegidos por contraseña) o según un programa preestablecido, (Burgos, 2012). Las mediciones incluyen:

- Medición del tiempo de uso de la energía activa, reactiva y aparente.
- Medición del tiempo de uso de la demanda activa, reactiva y aparente.
- Registro automático de la demanda máxima (pico) durante cada período tarifario.

En la figura 16 se indican las características principales del medidor ION – 8600:

Lista de Funciones y Opciones	A	B	C
Potencia, Energía y Demanda			
Voltaje/corriente por fase, promedio, desequilibrio	■	■	■
Potencia: real, reactiva, aparente, factor de potencia, frecuencia	■	■	■
Energía: bidireccional, total, importada, exportada, neta	■	■	■
Demanda: de bloque, sliding window (bloque rotatorio), térmica, crevista	■	■	■
Comunicaciones y E/S			
Puertos RS-232/485	1	1	1
Puertos RS-485	1	1	1
Puertos Ethernet	1	1	1
Puerto óptico infrarrojo	1	1	1
Módem interno	1	1	1
DNP 3.0 mediante puertos seriales, módem y puertos infrarrojos	■	■	■
Modbus RTU esclavo en puertos seriales, módem y puertos infrarrojos	■	■	■
Modbus RTU maestro en puertos seriales	■	■	■
Modbus TCP mediante Ethernet	■	■	■
EtherGate, transmisión de datos entre Ethernet y RS-485	■	■	■
ModemGate, transmisión de datos entre el módem interno y RS-485	■	■	■
MeterMail, datos registrados y alarmas por e-mail	■	■	■
WebMeter, servidor web	■	■	■
Salidas internas KYZ	4	4	4
Entradas internas Forma A	3	3	3
Salidas analógicas externas	4	4	4
Entradas digitales externas para las funciones de estado/contador	8	8	8
Salidas externas de estado sólido	8	8	8
Registro y grabación			
Capacidad de memoria de serie	10MB	4MB	2MB
Registro min./máx. para cualquier parámetro	■	■	■
Registros históricos, número máximo de canales	800	320	32
Registros de formas de onda, número máximo de ciclos	96		
Resolución de registro de hora en segundos	0,001	0,001	0,001
Sincronización de tiempos GPS	■	■	■

Figura 16. Características generales del medidor ION – 8600
Fuente: (Burgos, 2012)

c. Medidor digital ION – 7650

En la subestación de Salcedo registra los datos un medidor tipo ION – 7650 del que se puede tomar todos los registros necesarios para realizar los análisis propuestos en esta investigación. Es utilizado para realizar las mediciones de parámetros eléctricos en el transformador y en las barras de salida de la subestación Salcedo, los medidores ION - 7650, ofrecen una funcionalidad que incluye análisis avanzados de la calidad de energía con la precisión de facturación, opciones múltiples de comunicación, compatibilidad con la web y capacidades de control. Los medidores incluyen una extensa selección de pantallas de datos pre-configurados y medidas que se puede utilizar inmediatamente como predeterminadas o puede adaptarse a necesidades específicas.



Figura 17. Medidor ION - 7650
Fuente: (Cabanas, 2015)

Lista de Funciones y Opciones	ION 7550	ION 7650
Potencia, Energía y Demanda		
Voltaje/corriente por fase, promedio, desequilibrio	■	■
Potencia: real, reactiva, aparente, factor de potencia, frecuencia	■	■
Energía: bidireccional, total, recibida, enviada, neta	■	■
Demanda: de bloque, sliding window (bloque rotatorio)térmica, prevista	■	■
Comunicaciones y E/S		
Puertos RS-232/485	1	1
Puertos RS-485	1	1
Puertos Ethernet	1	1
Puerto óptico infrarrojo ANSI Tipo 2	1	1
Módem interno	1	1
3 Puertos DNP 3.0 mediante puertos seriales, módem y puertos	■	■
Modbus RTU esclavo en puertos seriales, módem y puertos infrarrojos	■	■
Modbus RTU maestro en puertos seriales	■	■
Modbus TCP mediante Ethernet	■	■
EtherGate, transmisión de datos entre Ethernet y RS-485	■	■
ModemGate, transmisión de datos entre el módem interno y RS-485	■	■
MeterM@il, datos registrados y alarmas por e-mail	■	■
WebMeter, servidor web integrado	■	■
Entradas análogas	4	4
Salidas análogas	4	4
Entradas digitales de estado	16	16
Salidas digitales de estado (estándar)	4	4
Salidas de relés (estándar)	3	3
Registro y grabación		
Capacidad estándar de memoria	5MB	5MB
Máxima capacidad de memoria opcional	10MB	10MB
Registro min./máx. para cualquier parámetro	■	■
Registros históricos, número máximo de canales	800	800
Registros de formas de onda, número máximo de ciclos	96	96
Resolución de registro de hora en segundos	0.001	0.001
Información de tendencias histórica vía pantalla del panel frontal	■	■
Sincronización de tiempos GPS	■	■

Figura 18. Características generales del medidor ION – 650
Fuente: (Cabanas, 2015)

3.6.2 Validez y confiabilidad

La precisión en los medidores brindara una mayor confiabilidad a la hora de registrar las mediciones pues el fabricante trata de minimizar los errores, se ha establecido un rango de precisión para los distintos tipos de registros para los que sirve, como se detalla a continuación:

Parámetro	Precisión ± (%Lectura)
	1 segundo
Voltaje (I-I) (I-n)	0.1%
Frecuencia	±0.005Hz
Corriente (I1, I2, I3)	0.1%
Corriente (I4, I5)	0.4%
kW, kVAR, kVA	clase 0.2*
kWh, kVARh, kVAh	clase 0.2*
Demandas KW, KVA	clase 0.2*
Factor de Potencia (a Unidad PF)	0.2%
Armónica (hasta la 40)#	IEC 61000-4-7
Armónica (hasta la 63)	1% Escala Total
Factor K	5% Escala Total
Factor Cresta	1% Escala Total
Componentes simétricos#	Voltaje:0.2% FS**, Corriente 0.4% FS**

Figura 19. Precisión del medidor ION – 7650
Fuente: (Cabanas, 2015)

Para el medidor ION – 8600 aplica normas específicas para control y medición de la calidad de energía:

- Norma IEC 61000-4-7 armónicas e interarmónicas
- Norma IEC 61000-4-15 de señalización de fluctuaciones. **(Burgos, 2012)**

CBEMA/ITIC Los medidores también pueden configurarse para el monitoreo de:

- EN50160
- IEEE 519 y IEEE 1159

Se ha establecido un rango de precisión para los distintos tipos de registros del medidor ION – 8600 para los que sirve, como se detalla a continuación:

Parámetro	Precisión ± (%Lectura +% Corriente Nominal#)
Voltaje (l-l) (l-n)	0,1%
Frecuencia (47 - 63 Hz)	0,01 Hz
Corriente (I1, I2, I3)	0,1% + 0,002%
Corriente (I4)	0,4%
kW, kVAR, kVA (Unidad PF)	0,2% + 0,001%
kW, kVAR, kVA (±0.5 PF)	0,3% + 0,003%
kWh, kVARh, kva	Clase 0,2*
Factor de Energía a Unidad PF	0,5%
Armónica (hasta la 63)**	1%
Armónica (hasta la 40)	IEC 61000-4-7
Factor K	5%
Factor Cresta	1% Escala Total

Figura 20. Precisión del medidor ION – 8600
Fuente: **(Burgos, 2012)**

3.7 Técnicas de análisis de datos

Para analizar y comprobar los niveles de voltaje se ha realizado histogramas de Voltaje y de Factor de Potencia, lo que permitirá conocer bajo qué condiciones opera el sistema eléctrico de subtransmisión conformado del SISTEMA SALCEDO.

Con los medidores ION – 7650 y 8600 se han tomado los registros de demanda en las barras de salida de los alimentadores de la subestación Salcedo y en la subestación Ambato para poder realizar el análisis, además se realizará flujos de potencia en el que se podrá caracterizar a los alimentadores cuando se presenta tres casos de estudio:

- Demanda Máxima
- Demanda Mínima
- Demanda Media

3.7.1 Procesamiento de datos

Los medidores instalados en el sistema Salcedo o en los alimentadores de la subestación Salcedo permiten conocer la frecuencia con la que se presenta un nivel de voltaje y/o un factor de potencia bajo del límite permitido por la regulación CONELEC 004/01. A continuación, se detalla el análisis del sistema Salcedo, subestación Salcedo y los alimentadores primarios.

a. Sistema Salcedo:

Con los datos registrados en el sistema Salcedo se conoció que:

Tabla 22
Datos de voltaje del sistema Salcedo

Sistema SALCEDO	
No. Datos	9992
V máx.	70,388
V mín.	66,819
V media	68,444

De la tabla 22 se obtuvo un registro de 9992 datos tomado cada 15min, tiempo en el que el sistema Salcedo presentó un voltaje máximo de 70,388 kV y un voltaje mínimo de 66,819 kV.

Tabla 23
Datos de distribución de variación de voltaje del sistema Salcedo

L inferior	Clase	Frecuencia	%	% Acumulado	%DV
66,82	67,14	11	0,001	0,11%	5
67,14	67,47	115	0,012	1,26%	4
67,47	67,79	605	0,061	7,32%	3
67,79	68,12	1722	0,172	24,55%	2
68,12	68,44	2614	0,262	50,71%	1
68,44	68,77	2473	0,247	75,46%	0
68,77	69,09	1630	0,163	91,77%	-1
69,09	69,41	651	0,065	98,29%	-2
69,41	69,74	128	0,013	99,57%	-3
69,74	70,06	34	0,003	99,91%	-4
70,06	70,39	9	0,001	100,00%	-5
TOTAL		9992	1,00		

La regulación permitida según el CONELEC 004/001 para alto voltaje es del $\pm 5\%$ por lo que se estableció un rango de variación que estadísticamente se denomina clase de acuerdo para los registros obtenidos.

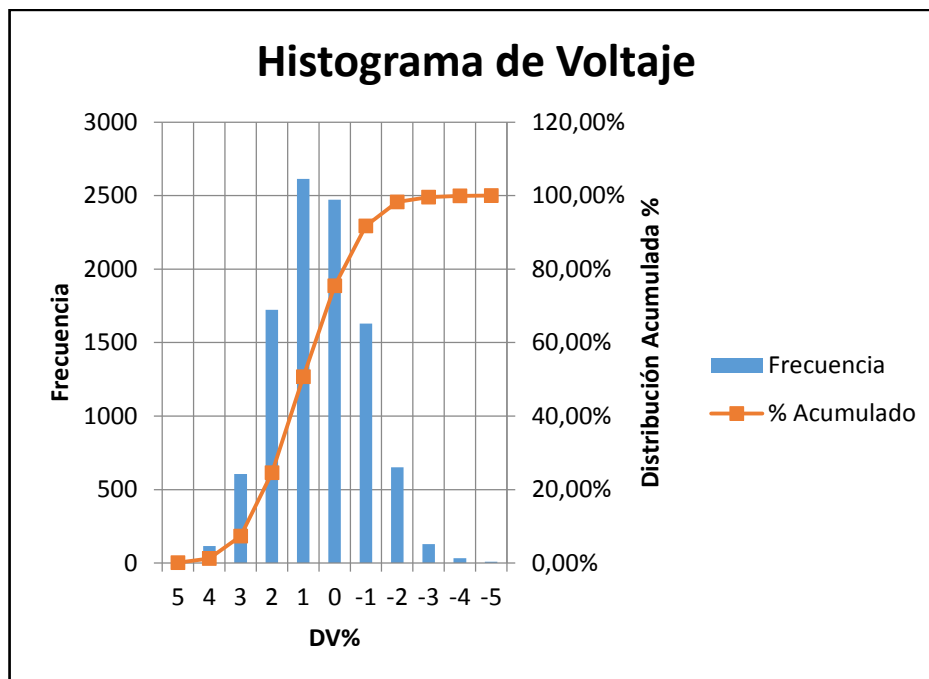


Figura 21. Histograma de voltaje del sistema Salcedo

En la figura 21 se observa que en el sistema Salcedo la variación de voltaje se encuentra entre +3% y -2%, lo que quiere decir que se encuentra en los rangos establecidos por la regulación CONELEC 004/01. Para el factor de potencia se determinó que:

Tabla 24
Datos del factor de potencia del sistema Salcedo

Sistema SALCEDO	
No. Datos	9992
FP máx.	0,970
FP mín.	0,886
FP medio	0,924

De la tabla 24 se obtuvo un registro de 9992 datos tomado cada 15min, tiempo en el que en sistema Salcedo presentó un factor de potencia máximo de 0,97 y un factor de potencia mínimo de 0,886.

Tabla 25
Datos de distribución de factor de potencia del sistema Salcedo

L inferior	Clase	Frecuencia	%	% Acumulado
0,886	0,894	91	0,009	0,91%
0,894	0,901	753	0,075	8,45%
0,901	0,909	1316	0,132	21,62%
0,909	0,917	1332	0,133	34,95%
0,917	0,924	1674	0,168	51,70%
0,924	0,932	1564	0,157	67,35%
0,932	0,940	1374	0,138	81,10%
0,940	0,947	1067	0,107	91,78%
0,947	0,955	564	0,056	97,43%
0,955	0,963	218	0,022	99,61%
0,963	0,970	39	0,004	100,00%

La regulación permitida según el CONELEC 004/001 para el factor de potencia de una subestación de transmisión o punto frontera es del 0,96 por lo que se estableció un rango de variación de acuerdo a los registros obtenidos.

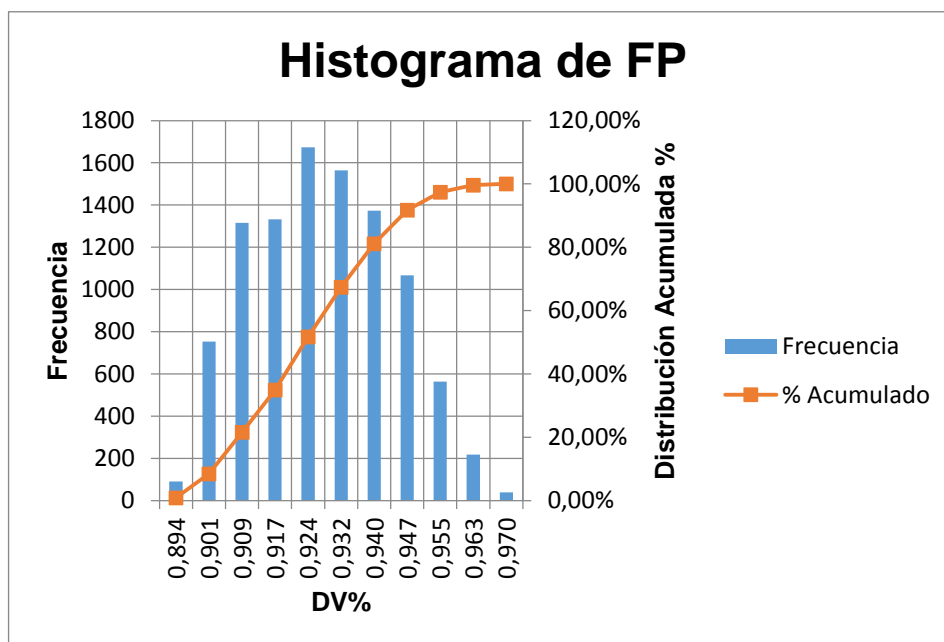


Figura 22. Histograma de factor de potencia del sistema Salcedo

En la figura 22 se observa que el sistema eléctrico de ELEPCO S.A., conformado por línea de 69 KV, S/E Salcedo, S/E Fairis y S/E Holcim denominado sistema Salcedo se encuentra fuera de los rangos establecidos por la regulación CONEL 004/01.

De los resultados se obtiene que actualmente el sistema SALCEDO no opera bajo parámetros de calidad, su voltaje no está siendo afectado, pero si el factor de potencia. En el capítulo 4 se utilizará la demanda máxima, mínima y media de la tabla 26 para conocer en qué caso el factor de potencia es afectado.

Tabla 26
Demanda Sistema Salcedo

S/E AMBATO	Fecha	Hora	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAr)	S	FP	Energía Recibida (kWh)	Energía Recibida (kVArh)
MAXIMO	25/04/2016	19:15:00	15992,963	6215,290	17158,225	0,932	3998,241	1448,073
MINIMO	06/03/2016	16:45:00	5949,519	2450,531	6434,429	0,925	1487,380	612,633
MEDIA	18/03/2016	1:30:00	9838,591	4066,131	10645,717	0,924	2459,648	1016,533

La hora pico es a las 19:15, el mayor consumo de energía comúnmente se presenta en el intervalo de tiempo de 19:00 a 22:00.

En el ANEXO G, se presenta las curvas de carga diaria, semanal y mensual del punto frontera Ambato.

b. Subestación Salcedo

De los datos registrados en la subestación Salcedo se conoció que:

Tabla 27
Datos de voltaje de la S/E Salcedo

SUBESTACIÓN SALCEDO	
No. Datos	4320
V máx.	14099,121
V mín.	13281,841
V media	13736,930

De la tabla 27 se obtuvo un registro mensual de 4320 datos tomado cada 10min, tiempo en el que la subestación Salcedo presentó un voltaje máximo de 14,09 kV y un voltaje mínimo de 13.28 kV en la barra de Salida principal.

Tabla 28
Datos distribución de variación de voltaje de la S/E Salcedo

L inferior	CLASE	Frecuencia	%	% Acumulado	%DV
13281,84	13363,57	3	0,00	0,07%	5
13363,57	13445,30	41	0,01	1,02%	4
13445,30	13527,03	168	0,04	4,91%	3
13527,03	13608,75	438	0,10	15,05%	2
13608,75	13690,48	831	0,19	34,28%	1
13690,48	13772,21	1042	0,24	58,40%	0
13772,21	13853,94	1076	0,25	83,31%	-1
13853,94	13935,67	572	0,13	96,55%	-2
13935,67	14017,39	136	0,03	99,70%	-3
14017,39	14099,12	13	0,00	100,00%	-4
14099,12	14180,85	0	0,00	100,00%	-5
TOTAL		4320	1,00		

La regulación permitida según el CONELEC 004/001 para alto voltaje es del $\pm 5\%$ por lo que se estableció un rango de variación de acuerdo a los registros obtenidos.

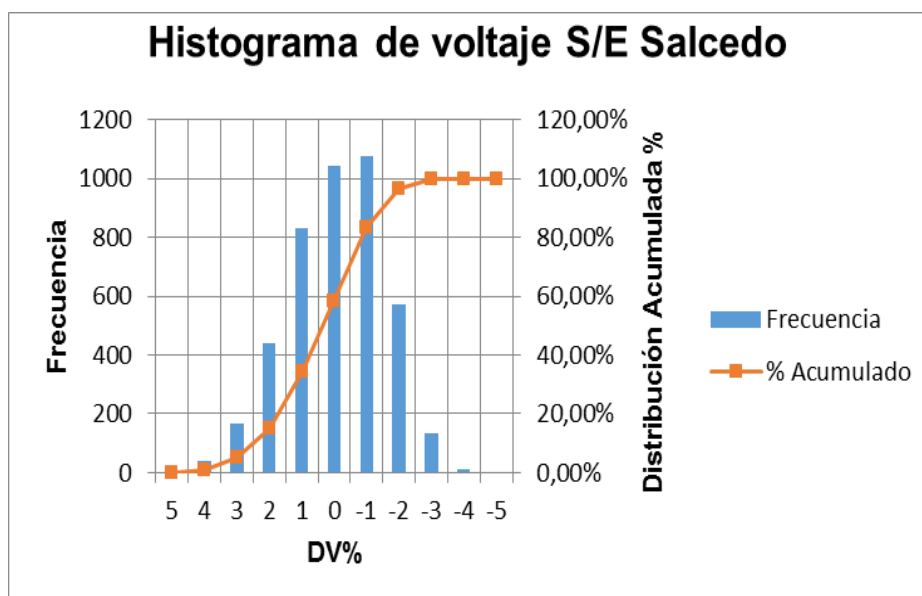


Figura 23. Histograma de voltaje de la S/E Salcedo

En la figura 23 se observa que la subestación Salcedo con respecto a la variación de voltaje se encuentra entre $+4\%$ y -3% , lo que quiere decir que se encuentra en los rangos establecidos por la regulación CONELEC 004/01. Para el factor de potencia se determinó que:

Tabla 29
Datos del factor de potencia de la S/E Salcedo

SUBESTACIÓN SALCEDO	
No. Datos	4320
FP máx.	0,975
FP mín.	0,891
FP media	0,931

De la tabla 29 se obtuvo un registro mensual de 4320 datos tomado cada 10min, tiempo en el que la subestación Salcedo presentó un factor de potencia máximo de 0,975 mientras que el factor de potencia mínimo es 0,89.

Tabla 30
Datos de distribución de factor de potencia de la S/E Salcedo

L inferior	CLASE	Frecuencia	%	% Acumulado
0,891	0,899	24	0,0056	0,56%
0,899	0,908	259	0,0600	6,55%
0,908	0,916	854	0,1977	26,32%
0,916	0,925	937	0,2169	48,01%
0,925	0,933	684	0,1583	63,84%
0,933	0,942	390	0,0903	72,87%
0,942	0,950	259	0,0600	78,87%
0,950	0,958	266	0,0616	85,02%
0,958	0,967	306	0,0708	92,11%
0,967	0,975	340	0,0787	99,98%
0,975	0,984	1	0,0002	100,00%
TOTAL		4320	1,00	

La regulación permitida según el CONELEC 004/001 para factor de potencia es 0,92 por lo que se estableció un rango de variación de acuerdo a los registros obtenidos.

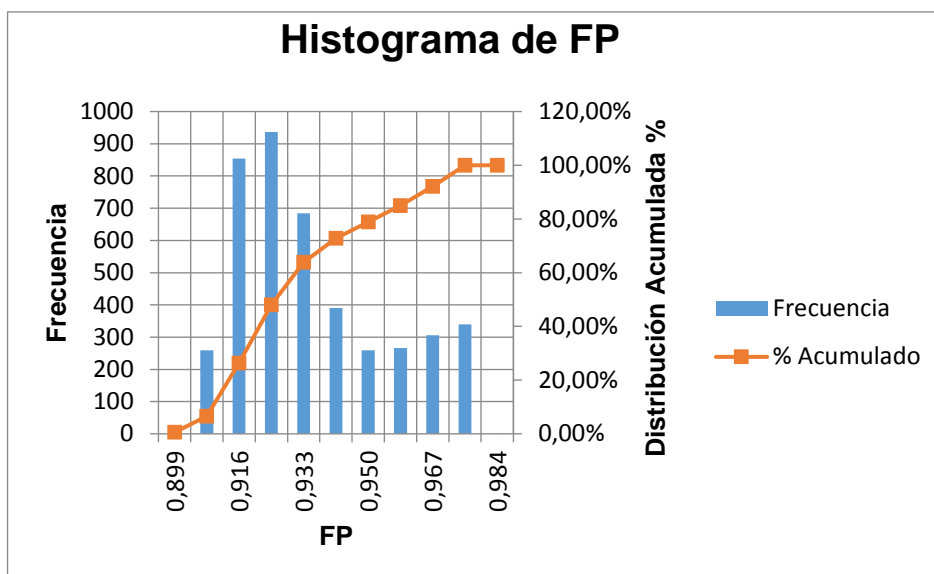


Figura 24. Histograma de factor de potencia de la S/E Salcedo

En la figura 24 se observa que la subestación Salcedo con respecto a la variación de factor de potencia se encuentra entre 0,89 y 0,975, en donde el 48,01% de tiempo el transformador opera bajo condiciones anormales, por lo que no se encuentra en los rangos establecidos por la regulación CONELEC 004/01.

De los resultados se obtiene que actualmente la subestación Salcedo no opera bajo parámetros de calidad, su voltaje en barra no está siendo afectado, pero si el factor de potencia.

En el capítulo 4 se utilizará la demanda máxima, mínima y media de la tabla 31 para conocer en qué caso el factor de potencia es afectado.

**Tabla 31
Demanda subestación Salcedo**

S/E SALCEDO	Fecha	Hora	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAr)	S	FP	Energía Recibida (kWh)	Energía Recibida (kVArh)
MAXIMO	04/11/2015	19:10	11306,807	2801,393	11648,677	0,971	2826,702	700,348
MINIMO	09/11/2015	2:30	4478,475	1886,777	4859,698	0,922	1119,619	471,694
MEDIA	18/09/2015	16:30	6580,255	3116,810	7281,090	0,904	1645,064	779,203

La hora pico es a las 19:10, el mayor consumo de energía comúnmente se presenta en el intervalo de tiempo de 19:00 a 22:00.

En el **ANEXO H**, se presenta las curvas de carga diaria, semanal y mensual de la subestación Salcedo.

c. Alimentador 1: Salcedo Norte Oriente

De los datos registrados en el alimentador 1 se conoció que:

Tabla 32
Datos de voltaje del alimentador 1

ALIMENTADOR 1	
No. Datos	4320
V máx.	14087,023
V mín.	13312,255
V media	13734,18

De la tabla 32 se obtuvo un registro mensual de 4320 datos tomado cada 10min, tiempo en el que el alimentador 1 presentó un voltaje máximo de 14.08kV mientras que el voltaje mínimo fue de 13,31 kV en la barra de salida de la subestación Salcedo.

Tabla 33
Datos de distribución de variación de voltaje del alimentador 1

L inferior	CLASE	Frecuencia	%	% Acumulado	%DV
0	0	0	0,00	0,00%	8
13312,25	13363,91	3	0,00	0,07%	7
13363,91	13415,56	10	0,00	0,30%	6
13415,56	13467,21	59	0,01	1,67%	5
13467,21	13518,86	117	0,03	4,38%	4
13518,86	13570,51	228	0,05	9,65%	3
13570,51	13622,16	382	0,09	18,50%	2
13622,16	13673,81	525	0,12	30,65%	1
13673,81	13725,46	633	0,15	45,30%	0
13725,46	13777,12	670	0,16	60,81%	-1
13777,12	13828,77	706	0,16	77,15%	-2
13828,77	13880,42	515	0,12	89,07%	-3
13880,42	13932,07	308	0,07	96,20%	-4
13932,07	13983,72	113	0,03	98,82%	-5
13983,72	14035,37	45	0,01	99,86%	-6
14035,37	14087,02	5	0,00	99,98%	-7
14087,02	14138,67	1	0,00	100,00%	-8
TOTAL		4320	1		

La regulación permitida según el CONELEC 004/001 para alto voltaje es del $\pm 8\%$ por lo que se estableció un rango de variación de acuerdo a los registros obtenidos.

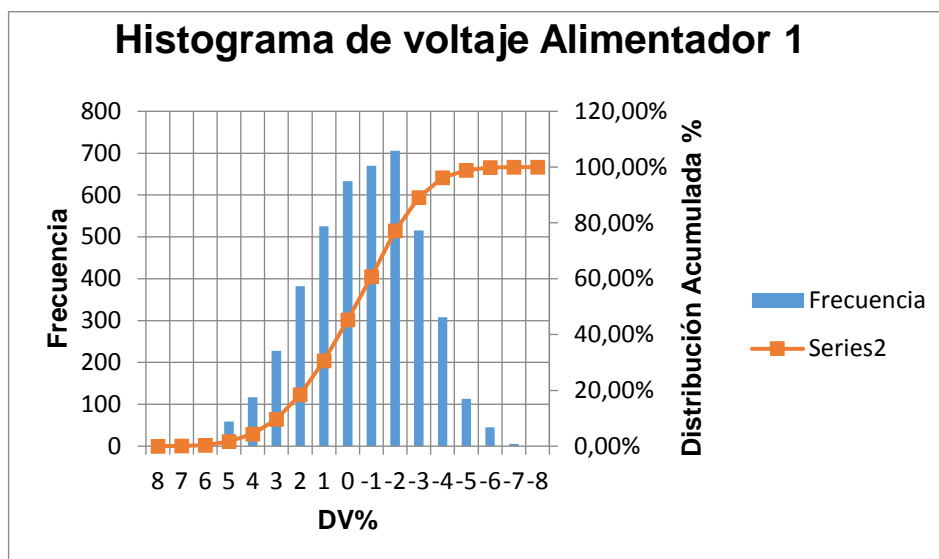


Figura 25. Histograma de voltaje del Alimentador 1

En la figura 25 se observa que el alimentador 1 con respecto a la variación de voltaje se encuentra entre $+5\%$ y -5% en la barra de la subestación Salcedo, lo que quiere decir que se encuentra en los rangos establecidos por la regulación CONELEC 004/01. Para el factor de potencia se determinó que:

Tabla 34
Datos del factor de potencia del alimentador 1

ALIMENTADOR 1	
No. Datos	4320
FP máx.	0,939
FP mín.	0,807
FP media	0,888

De la tabla 34 se obtuvo un registro mensual de 2877 datos tomado cada 15min, tiempo en el que la subestación Ambato presentó un factor de potencia máximo de 1 mientras que el factor de potencia mínimo es 0,94.

Tabla 35
Datos de distribución de factor de potencia del alimentador 1

L inferior	CLASE	Frecuencia	%	% Acumulado
0	0	0	0,00	0,00%
0,807	0,816	4	0,00	0,09%

CONTINÚA



0,816	0,825	23	0,01	0,63%
0,825	0,834	32	0,01	1,37%
0,834	0,843	59	0,01	2,73%
0,843	0,851	156	0,04	6,34%
0,851	0,860	248	0,06	12,08%
0,860	0,869	351	0,08	20,21%
0,869	0,878	485	0,11	31,44%
0,878	0,887	750	0,17	48,80%
0,887	0,895	765	0,18	66,50%
0,895	0,904	410	0,09	76,00%
0,904	0,913	257	0,06	81,94%
0,913	0,922	264	0,06	88,06%
0,922	0,931	419	0,10	97,75%
0,931	0,939	97	0,02	100,00%
0,939	0,948	0	0,00	100,00%
TOTAL		4320,000	1,00	

La regulación permitida según el CONELEC 004/001 para factor de potencia es del 0,92% por lo que se estableció un rango de variación de acuerdo a los registros obtenidos.

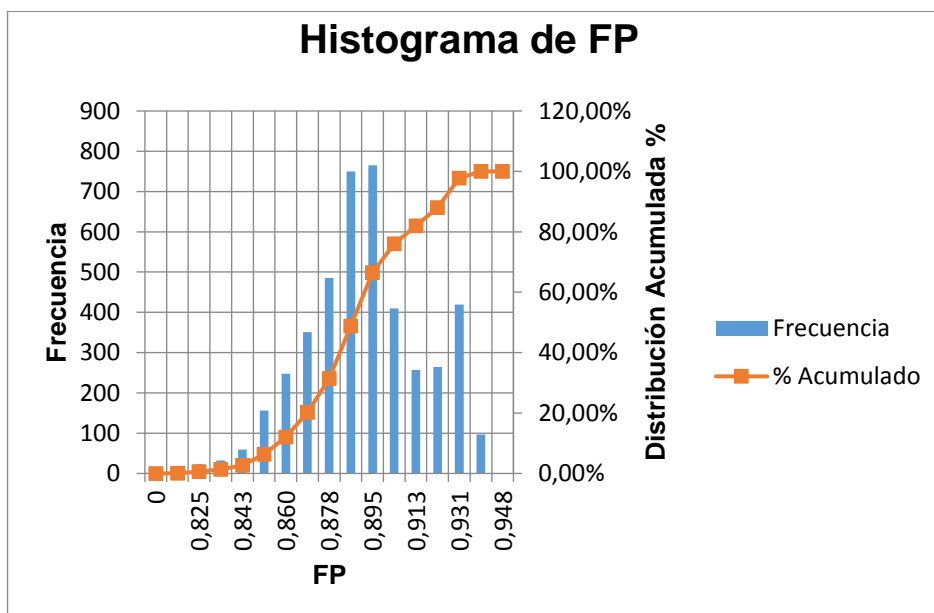


Figura 26. Histograma de factor de potencia del alimentador1

En la figura 26 se observa que el alimentador 1 la variación de factor de potencia se encuentra entre 0,807 y 0,913, además de haber encontrado que el 88,06% del

tiempo se encuentra fuera de los rangos establecidos por la regulación CONELEC 004/01.

El alimentador 1 no opera bajo parámetros de calidad debido a que el factor de potencia está siendo afectado y no los voltajes en barra. En el capítulo 4 se utilizará la demanda máxima, mínima y media de la tabla 36 para conocer en qué caso el factor de potencia y el nivel de voltaje del alimentador pueden ser afectados.

Tabla 36
Demanda del alimentador 1

ALIM1	Fecha	Hora	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAr)	S	FP	Energía Recibida (kWh)	Energía Recibida (kVArh)
MAXIMO	23/09/2015	19:20:00	3082,674	1221,511	3315,866	0,930	770,668	305,378
MINIMO	13/09/2015	6:40:00	1335,981	784,061	1549,063	0,862	333,995	196,015
MEDIA	25/11/2015	17:20	1944,993	1005,315	2189,442	0,888	486,248	251,329

La hora pico es a las 19:20, el mayor consumo de energía comúnmente se presenta en el intervalo de tiempo de 19:00 a 21:50.

En el **ANEXO I**, se presenta las curvas de carga diaria, semanal y mensual del alimentador 1.

d. Alimentador 2: Salcedo Centro

De los datos registrados en el alimentador 2 se conoció que:

Tabla 37
Datos de voltaje del alimentador 2

ALIMENTADOR 2	
No. Datos	4320
V máx	14097,69
V mín	13194,20
V promedio	13733,90

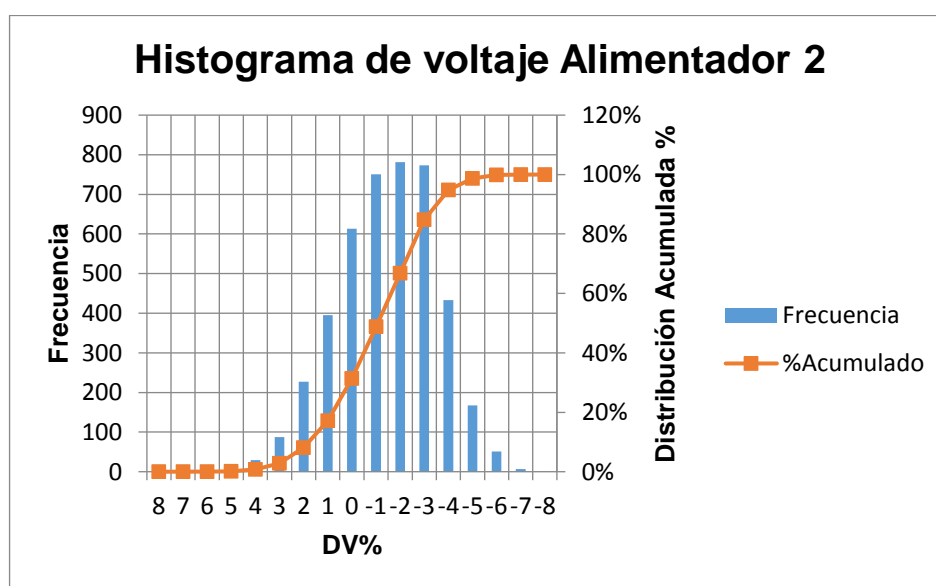
De la tabla 37 se obtuvo un registro mensual de 4320 datos tomado cada 10min, tiempo en el que el alimentador 2 presentó un voltaje máximo de 14.09kV mientras que el voltaje mínimo fue de 13.19 kV en la barra de salida de la subestación Salcedo.

Tabla 38

Datos de distribución de variación de voltaje del alimentador 2

L inferior	CLASE	Frecuencia	%	%Acumulado	%DV
0	0	0	0,000%	0%	8
13194,20	13254,43	1	0,023%	0%	7
13254,43	13314,67	1	0,023%	0%	6
13314,67	13374,90	3	0,069%	0%	5
13374,90	13435,13	29	0,671%	1%	4
13435,13	13495,36	87	2,014%	3%	3
13495,36	13555,60	227	5,255%	8%	2
13555,60	13615,83	395	9,144%	17%	1
13615,83	13676,06	613	14,190%	31%	0
13676,06	13736,29	751	17,384%	49%	-1
13736,29	13796,53	781	18,079%	67%	-2
13796,53	13856,76	773	17,894%	85%	-3
13856,76	13916,99	433	10,023%	95%	-4
13916,99	13977,23	167	3,866%	99%	-5
13977,23	14037,46	51	1,181%	100%	-6
14037,46	14097,69	7	0,162%	100%	-7
14097,69	14157,92	1	0,023%	100%	-8
TOTAL		4320	1		

La regulación permitida según el CONELEC 004/001 para alto voltaje es del $\pm 8\%$ por lo que se estableció un rango de variación de acuerdo a los registros obtenidos.



En la figura 27 se observa que el alimentador 2 con respecto a la variación de voltaje se encuentra entre +4% y -5% en la barra de la subestación Salcedo, lo que quiere decir que se encuentra en los rangos establecidos por la regulación CONELEC 004/01.

Para el factor de potencia se determinó que:

Tabla 39
Datos del factor de potencia del Alimentador 2

ALIMENTADOR 2	
No. Datos	4320
FP máx.	0,994
FP mín.	0,893
FP media	0,951

De la tabla 39 se obtuvo un registro mensual de 4320 datos tomado cada 10min, tiempo en el que el alimentador 2 presentó un factor de potencia máximo de 0,99 mientras que el factor de potencia mínimo es 0,89.

Tabla 40
Datos de distribución de factor de potencia del alimentador 2

L inferior	FP máx.	Frecuencia	%	%Acumulado
0,893	0,900	27	0,63%	0,63%
0,900	0,907	122	2,82%	3,45%
0,907	0,913	260	6,02%	9,47%
0,913	0,920	282	6,53%	16,00%
0,920	0,927	175	4,05%	20,05%
0,927	0,933	135	3,13%	23,17%
0,933	0,940	176	4,07%	27,25%
0,940	0,947	436	10,09%	37,34%
0,947	0,954	723	16,74%	54,07%
0,954	0,960	628	14,54%	68,61%
0,960	0,967	335	7,75%	76,37%
0,967	0,974	210	4,86%	81,23%
0,974	0,981	181	4,19%	85,42%
0,981	0,987	246	5,69%	91,11%
0,987	0,994	383	8,87%	99,98%
0,994	1,001	1	0,02%	100,00%
TOTAL		4320		

La regulación permitida según el CONELEC 004/001 para factor de potencia es del 0,92% por lo que se estableció un rango de variación de acuerdo a los registros obtenidos.

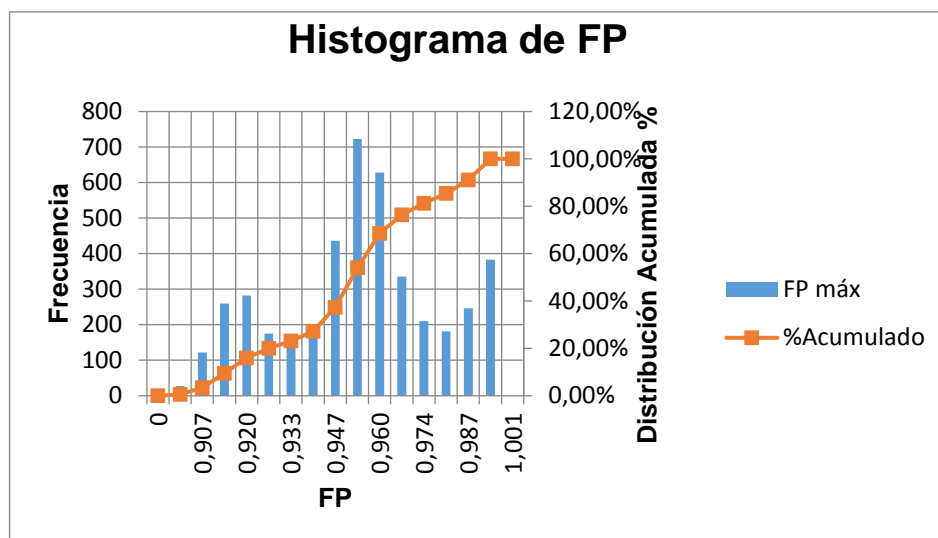


Figura 28. Histograma de factor de potencia del alimentador 2

En la figura 28 se observa que el alimentador 2 la variación de factor de potencia se encuentra entre 0,907 y 0,974, además de haber encontrado que el 16% del tiempo se encuentra fuera de los rangos establecidos por la regulación CONELEC 004/01.

El alimentador 2 opera bajo parámetros de calidad, su voltaje en barra y el factor de potencia no están siendo afectados. En el capítulo 4 se utilizará la demanda máxima, mínima y media de la tabla 41 para conocer en qué caso el factor de potencia es afectado y en que parte del alimentador es la más afectada por el bajo nivel del voltaje.

**Tabla 41
Demanda del alimentador 2**

ALIM2	Fecha	Hora	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAr)	S	FP	Energía Recibida (kWh)	Energía Recibida (kVArh)
MAXIMO	26/10/2015	19:00	2240,733	315,933	2262,896	0,990	560,183	78,983
MINIMO	27/10/2014	9:40	606,691589	290,071472	672,470	0,902	151,673	72,518
MEDIA	13/10/2015	22:10	1360,197	327,844	1399,149	0,972	340,049	81,961

La hora pico es a las 19:00, el mayor consumo de energía comúnmente se presenta en el intervalo de tiempo es de 19:00 a 22:00 00.

En el **ANEXO J**, se presenta las curvas de carga diaria, semanal y mensual del alimentador 2.

e. Alimentador 3: Salcedo Sur

De los datos registrados en el Alimentador 3 se conoció que:

Tabla 42
Datos de voltaje del alimentador 3

ALIMENTADOR 3	
No. Datos	4320
V máx	14101,281
V mín	13196,380
V promedio	13735,15

De la tabla 42 se obtuvo un registro mensual de 4320 datos tomado cada 10min, tiempo en el que el Alimentador 3 presentó un Voltaje Máximo de 14,10 kV mientras que el Voltaje mínimo fue de 13,19 kV en la barra de salida de la Subestación Salcedo.

Tabla 43
Datos de distribución de variación de voltaje del alimentador 3

L inferior	CLASE	Frecuencia	%	%Acumulado	%DV
0	0	0	0,000%	0%	8
13196,38	13256,71	1	0,023%	0%	7
13256,71	13317,03	0	0,000%	0%	6
13317,03	13377,36	3	0,069%	0%	5
13377,36	13437,69	30	0,694%	1%	4
13437,69	13498,01	96	2,222%	3%	3
13498,01	13558,34	223	5,162%	8%	2
13558,34	13618,67	400	9,259%	17%	1
13618,67	13678,99	631	14,606%	32%	0
13678,99	13739,32	734	16,991%	49%	-1
13739,32	13799,65	797	18,449%	67%	-2
13799,65	13859,97	770	17,824%	85%	-3
13859,97	13920,30	417	9,653%	95%	-4
13920,30	13980,63	171	3,958%	99%	-5
13980,63	14040,95	42	0,972%	100%	-6
14040,95	14101,28	4	0,093%	100%	-7

CONTINÚA



14101,28	14161,61	1	0,023%	100%	-8
TOTAL		4320	1		

La regulación permitida según el CONELEC 004/001 para Alto Voltaje es del $\pm 8\%$ por lo que se estableció un rango de variación de acuerdo a los registros obtenidos.

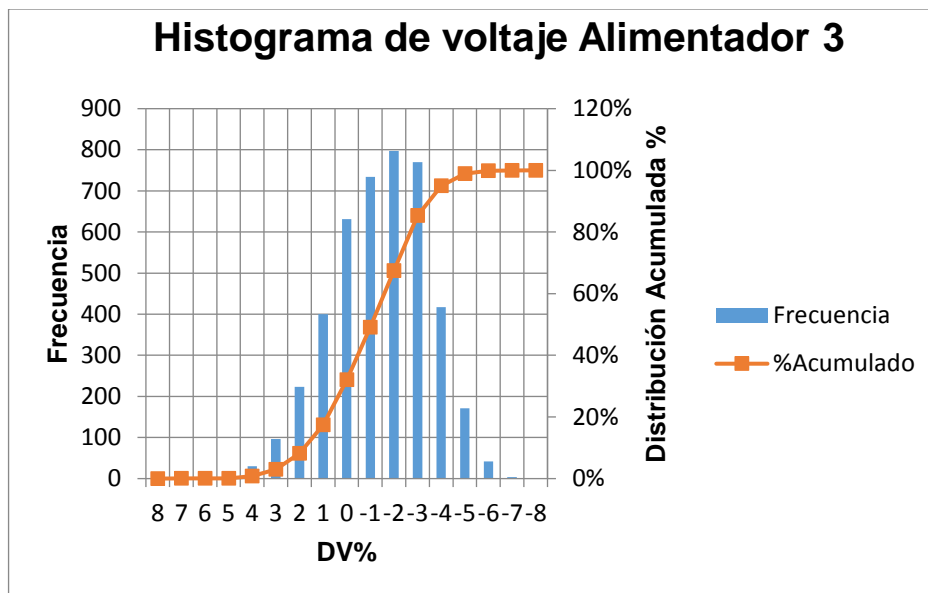


Figura 29 Histograma de voltaje del Alimentador 3.

En la figura 29 se observa que el Alimentador 3 con respecto a la variación de voltaje se encuentra entre $+4\%$ y -6% en la barra de la subestación salcedo, lo que quiere decir que se encuentra en los rangos establecidos por la regulación 004/01.

Para el factor de potencia se determinó que:

Tabla 44
Datos del factor de potencia del alimentador 3

ALIMENTADOR 3	
No. Datos	4320
FP máx.	0,975
FP mín.	0,879
FP media	0,931

De la tabla 44 se obtuvo un registro mensual de 4320 datos tomado cada 10min, tiempo en el que el alimentador 3 presentó un factor de potencia máximo de 0,97 mientras que el factor de potencia mínimo es 0,87.

Tabla 45

Datos de distribución de factor de potencia del alimentador 3

L inferior	CLASE	Frecuencia	%	%Acumulado
0,879	0,885	5	0,12%	0%
0,885	0,892	17	0,39%	1%
0,892	0,898	72	1,67%	2%
0,898	0,904	172	3,98%	6%
0,904	0,911	419	9,70%	16%
0,911	0,917	571	13,22%	29%
0,917	0,924	619	14,33%	43%
0,924	0,930	492	11,39%	55%
0,930	0,937	384	8,89%	64%
0,937	0,943	293	6,78%	70%
0,943	0,949	251	5,81%	76%
0,949	0,956	260	6,02%	82%
0,956	0,962	229	5,30%	88%
0,962	0,969	364	8,43%	96%
0,969	0,975	171	3,96%	100%
0,975	0,981	1	0,02%	100%
TOTAL		4320	1	

La regulación permitida según el CONELEC 004/001 para factor de potencia es del 0,92% por lo que se estableció un rango de variación de acuerdo a los registros obtenidos.

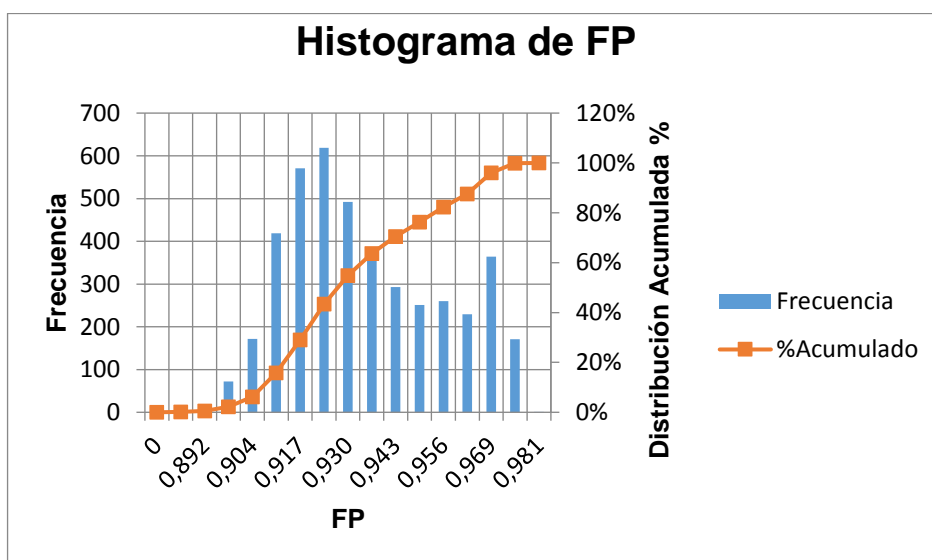


Figura 30. Histograma de factor de potencia del alimentador 3

En la figura 30 se observa que el alimentador 3 la variación de factor de potencia se encuentra entre 0,904 y 0,975, además de haber encontrado que el 43% del tiempo se encuentra fuera de los rangos establecidos por la regulación CONELEC 004/01.

El alimentador 3 opera bajo parámetros de calidad, su voltaje en barra no está siendo afectado, pero si el factor de potencia, el 43% del tiempo mensual. En el capítulo 4 se utilizará los valores de demanda máxima, mínima y media de la tabla 46 para conocer en qué caso el factor de potencia es afectado y que parte del alimentador es la más afectada por el bajo nivel del voltaje.

Tabla 46
Demanda del alimentador 3

ALIM3	Fecha	Hora	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAr)	S	FP	Energía Recibida (kWh)	Energía Recibida (kVArh)
MAXIMO	21/09/2015	19:20	4076,756	1110,318	4225,251	0,965	1019,189	277,580
MINIMO	22/10/2015	11:00	1350,922	443,806183	1421,954	0,950	337,730	110,952
MEDIA	07/10/2015	5:30	2302,481	673,872	2399,067	0,960	575,620	168,468

La hora pico es a las 19:20, el mayor consumo de energía comúnmente se presenta en el intervalo de tiempo de 19:00 a 22.

En el ANEXO K, se presenta las curvas de carga diaria, semanal y mensual del alimentador 3.

f. Alimentador 4: Salcedo Occidental

De los datos registrados en el alimentador 4 se conoció que:

Tabla 47
Datos de voltaje del alimentador 4

ALIMENTADOR 4	
No. Datos	3988
V máx	14190,446
V mín	13438,472
V promedio	13771,12

De la tabla 47 se obtuvo un registro mensual de 3988 datos tomado cada 10min, tiempo en el que el Alimentador 4 presentó un Voltaje Máximo de 14,19 kV mientras que el Voltaje mínimo fue de 13,43 kV en la barra de salida de la Subestación Salcedo.

Tabla 48
Datos de distribución de variación de voltaje del alimentador 3

L inferior	CLASE	Frecuencia	%	%Acumulado	%DV
0	0	0	0,000%	0%	8
13438,47	13488,60	4	0,100%	0%	7
13488,60	13538,74	29	0,727%	1%	6
13538,74	13588,87	98	2,457%	3%	5
13588,87	13639,00	252	6,319%	10%	4
13639,00	13689,13	492	12,337%	22%	3
13689,13	13739,26	657	16,474%	38%	2
13739,26	13789,39	788	19,759%	58%	1
13789,39	13839,52	681	17,076%	75%	0
13839,52	13889,66	479	12,011%	87%	-1
13889,66	13939,79	277	6,946%	94%	-2
13939,79	13989,92	153	3,837%	98%	-3
13989,92	14040,05	59	1,479%	100%	-4
14040,05	14090,18	16	0,401%	100%	-5
14090,18	14140,31	1	0,025%	100%	-6
14140,31	14190,45	1	0,025%	100%	-7
14190,45	14240,58	1	0,025%	100%	-8
TOTAL		3988	1		

La regulación permitida según el CONELEC 004/001 para Alto Voltaje es del $\pm 8\%$ por lo que se estableció un rango de variación de acuerdo a los registros obtenidos.

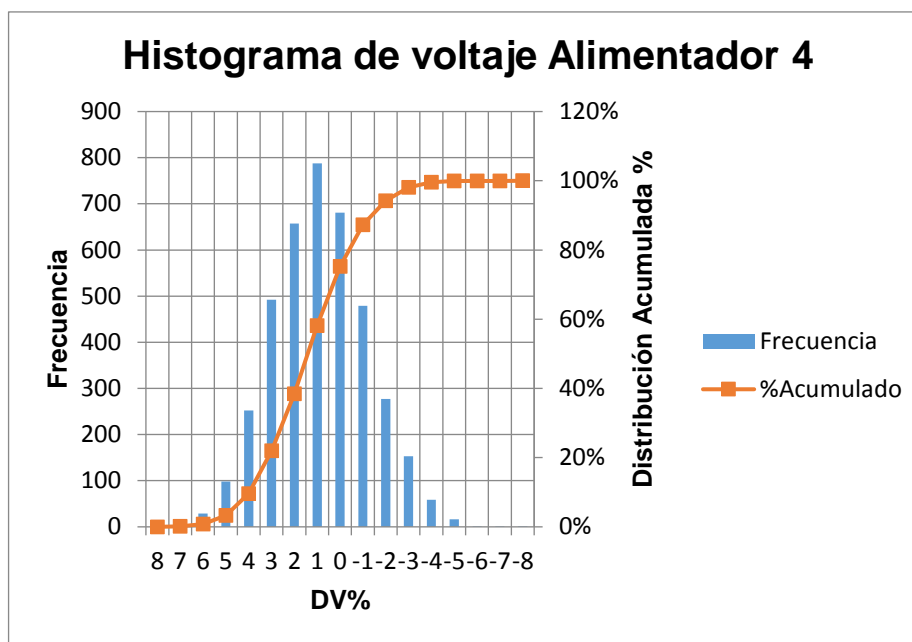


Figura 31 Histograma de voltaje del Alimentador 4

En la figura 31 se observa que el Alimentador 4 con respecto a la variación de voltaje se encuentra entre +6% y -4% en la barra de la Subestación Salcedo, lo que quiere decir que se encuentra en los rangos establecidos por la regulación 004/01.

Para el factor de potencia se determinó que:

Tabla 49

Datos del factor de potencia del alimentador 4

ALIMENTADOR 4	
No. Datos	3988
FP máx.	1,000
FP mín.	0,949
FP media	0,989

De la tabla 49 se obtuvo un registro mensual de 3988 datos tomado cada 10min, tiempo en el que el alimentador 4 presentó un factor de potencia máximo de 1,00 mientras que el factor de potencia mínimo es 0,949.

Tabla 50

Datos de distribución de factor de potencia del alimentador 4

L inferior	CLASE	Frecuencia	%	%Acumulado
0	0	0	0,00%	0%
0,949	0,953	5	0,13%	0%

CONTINÚA



0,953	0,956	15	0,38%	1%
0,956	0,960	17	0,43%	1%
0,960	0,963	34	0,85%	2%
0,963	0,966	72	1,81%	4%
0,966	0,970	118	2,96%	7%
0,970	0,973	158	3,96%	11%
0,973	0,976	167	4,19%	15%
0,976	0,980	227	5,69%	20%
0,980	0,983	230	5,77%	26%
0,983	0,987	253	6,34%	32%
0,987	0,990	263	6,59%	39%
0,990	0,993	403	10,11%	49%
0,993	0,997	681	17,08%	66%
0,997	1,000	1344	33,70%	100%
1,000	1,003	1	0,03%	100%
TOTAL		3988,000	1	

La regulación permitida según el CONELEC 004/001 para factor de potencia es del 0,92% por lo que se estableció un rango de variación de acuerdo a los registros obtenidos.

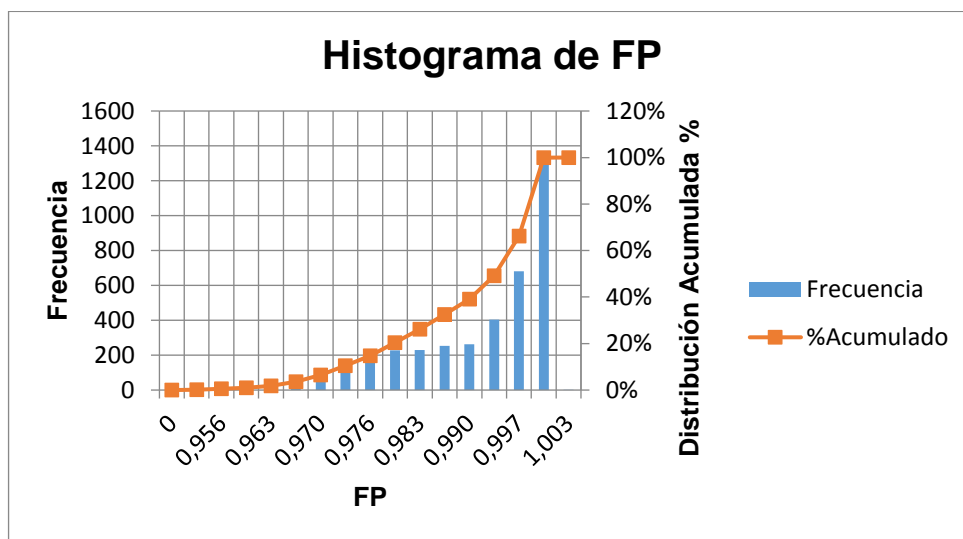


Figura 32. Histograma de factor de potencia del alimentador 4

En la figura 32 se observa que el alimentador 4 la variación de factor de potencia se encuentra entre 0,956 y 1,00, además de haber encontrado que el 100% del tiempo está dentro de los rangos establecidos por la regulación CONELEC 004/01.

El alimentador 4 opera bajo parámetros de calidad, su voltaje en barra no está siendo afectado, pero si el factor de potencia. En el capítulo 4 se utilizará la demanda máxima, mínima y media de la tabla 51 para conocer en qué caso el factor de potencia y el nivel de voltaje del alimentador están siendo afectados.

Tabla 51
Demanda del Alimentador 4

ALIM4	Fecha	Hora	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAr)	S	FP	Energía Recibida (kWh)	Energía Recibida (kVArh)
MAXIMO	20/11/2015	19:00	1721,343	206,927	1733,736	0,993	560,183	78,983
MINIMO	16/10/2015	9:10	315,240	25,613	316,279	0,997	78,810	6,403
MEDIA	12/11/2015	5:00	780,069	32,759	780,756	0,999	195,017	8,190

La hora pico es a las 19:00, el mayor consumo de energía comúnmente se presenta en el intervalo de tiempo es de 19:00 a 22:00.

En el **ANEXO L**, se presenta las curvas de carga diaria, semanal y mensual del alimentador 4.

3.8 Técnicas de comprobación de hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis, el método principal a utilizarse será el método deductivo, con el que se podrá obtener resultados específicos de los problemas a encontrar, el método documental bibliográfico será utilizado para fundamentar los conocimientos en el área técnica y la reglamentación, el método experimental será utilizado para demostrar que los datos obtenidos en los flujos de potencia coinciden con los datos reales, lo que dará mayor credibilidad al desarrollo de esta investigación.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Diagnóstico del Sistema Eléctrico de Subtransmisión a 69 kV.

El sistema Salcedo tiene conectado diversas subestaciones y se desea conocer las condiciones de voltaje y factor de potencia para demanda máxima, media y mínima, mediante flujos de potencia.

4.1.1 Demanda máxima

Las condiciones iniciales a tomar en cuenta son:

- En el punto frontera Ambato: voltaje nominal 69 kV, variación media de voltaje 0,00% y factor de potencia 0,96.
- Sistema de subtrasmisión Salcedo: voltaje nominal 69 kV, variación media de voltaje 4,00% y factor de potencia 0,92.
- Sistema de distribución Salcedo: voltaje nominal 13,80 kV, variación media de voltaje 8,00% y factor de potencia 0,92.

Se analizará las condiciones de operación de la subestación planta industrial Fairis, planta industrial Holcim y de los alimentadores de la subestación Salcedo.

a. Sistema Salcedo

En condiciones de demanda máxima y al realizar la distribución de carga en el programa CYMDIST, se obtuvo los siguientes resultados:

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	KW	KVAR	FP	DV	V p.u.
A	13800,0	69,0	39,8	153,0	6095,6	5742,3	2045,2	94,20	0,00	1,000
B	13800,0	69,0	39,8	154,7	6163,9	5697,2	2352,7	92,43	-0,00	1,000
C	13800,0	69,0	39,8	147,2	5865,6	5453,4	2160,0	92,97	-0,00	1,000
TOTAL		69,0	39,8		18121	16893	6558	93,20	0,00	1,000

Figura 33. Caída de voltaje del sistema Salcedo

Los resultados están en el **ANEXO M** y no se observan condiciones críticas de voltaje. Se observa un factor de potencia inferior al establecido en la regulación. Utilizando los datos de la tabla 7, se obtiene el perfil de voltaje en el recorrido de la línea de subtransmisión.

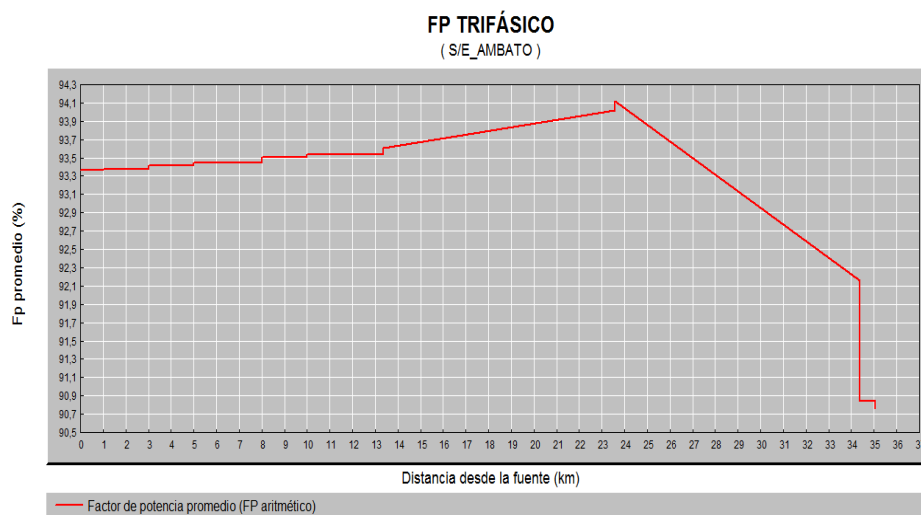


Figura 34. Perfil de Voltaje del sistema Salcedo

De la figura 34, se obtuvo la variación del factor de potencia en todo el sistema Salcedo, observándose que el factor de potencia en la subestación de la planta industrial Holcim no cumple con condiciones establecidas por la normativa CONELEC 004/01 y ANSI C84.1. A continuación, se presenta el resumen del flujo de potencia de la modelación del sistema Salcedo a demanda máxima:

Tabla 52
Reporte flujo de potencia del sistema Salcedo de CYMDIST

Parámetros de Estudio				
Nombre del estudio	SUBTRASMISION_DMAX.xst			
Fecha	Tue Aug 06 2016			
Tiempo	22h32m54s			
Método de Calculo	Caída de voltaje – Desequilibrada			
Precisión	0,10%			
Factores de carga	Como definido			
Factores de motor	Como definido			
Factores de generador	Como definido			
Condensadores paralelo	On			
Modelo de carga de sensibilidad	De la biblioteca			
Condiciones anormales	Fase	Conteo	Peor caso	Valor

CONTINÚA



Sobrecarga	A	0	S/E Salcedo	81,19 %
	B	0	S/E Salcedo	95,61 %
	C	0	S/E Salcedo	85,50%
Bajo Voltaje	A	0	Planta_Industrial_Holcim	94,73 %
	B	0	S/E Salcedo	94,34 %
	C	0	Planta_Industrial_Holcim	94,49 %
Alto Voltaje	A	0	S/E Ambato	100,00 %
	B	0	S/E Ambato	100,00 %
	C	0	S/E Ambato	100,00 %

Como se puede observar en la tabla 52, **no existe sobrecarga** en los conductores de la línea de subtransmisión del sistema Salcedo. Existen bajos voltajes en la planta industrial Holcim en la fase A y C, y en la fase B de la subestación Salcedo. También se observan bajos voltajes, tramos de red, transformadores y seccionadores en la red de medio voltaje que están señalados en color rojo, ver **ANEXO M**.

Pérdidas

Para calcular las pérdidas producidas en las líneas de subtransmisión que se están generando, se ha tomado en consideración la metodología de Mentor Poveda. Las zonas identificadas con colores amarillos y verdes sombreados son las zonas con alta densidad de carga debido al elevado consumo de kWh y al número de clientes conectados a estos transformadores.

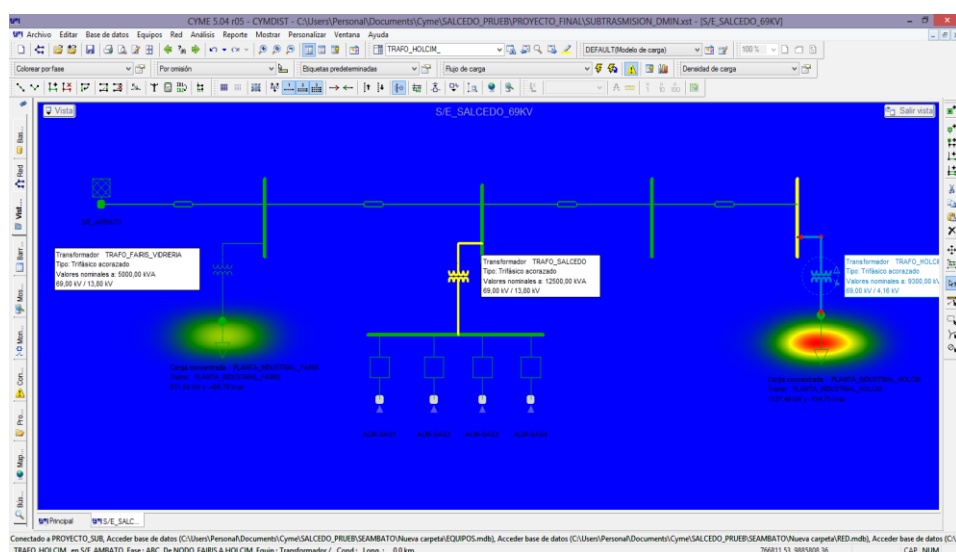


Figura 35. Zonas de mayor densidad de carga del sistema Salcedo

Tabla 53
Reporte de pérdidas en el sistema Salcedo de CYMDIST

Resumen total	kW	KVAR	kVA	FP (%)
Fuentes (potencia de equilibrio)	16892,94	6557,82	18121,16	93,22
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
Producción total	16892,94	6557,82	18121,16	93,22
Carga Leída (no regulada)	5699,39	2461,05	6454,04	92,44
Carga utilizada (regulada)	5966,39	2461,03	6454,03	92,44
Condensadores paralelos (regulados)	0,00	0,00	0,00	0,00
Reactancias paralelo (reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
Cargas totales	5699,39	2461,03	6454,03	92,44
Capacitancia del cable	0,00	0,00	0,00	0,00
Capacitancia de la línea	0,00	496,12	496,12	0,00
Capacitancia paralelo total	0,00	496,12	496,12	0,00
Pérdidas en las líneas	295,29	803,13	855,70	34,51
Pérdidas en los cables	0,00	0,00	0,00	0,00
Pérdidas en los Transformadores	71,70	973,14	975,77	7,35
Pérdidas Totales	366,99	1776,27	1813,79	20,23
Costo anual de las pérdidas del sistema	kW	MW-h/año	\$/año	
Pérdidas Totales	192,85	2.917,58	113.785,505	

Aplicando la fórmula de Mentor Poveda, se calcula que en un año se produce un total de **2.917,58 MW-h/año** en pérdidas técnicas, que económicamente representa \$113.785,51, es decir un 14% de la energía total anual, por lo que debería tomarse acciones correctivas para disminuirlas.

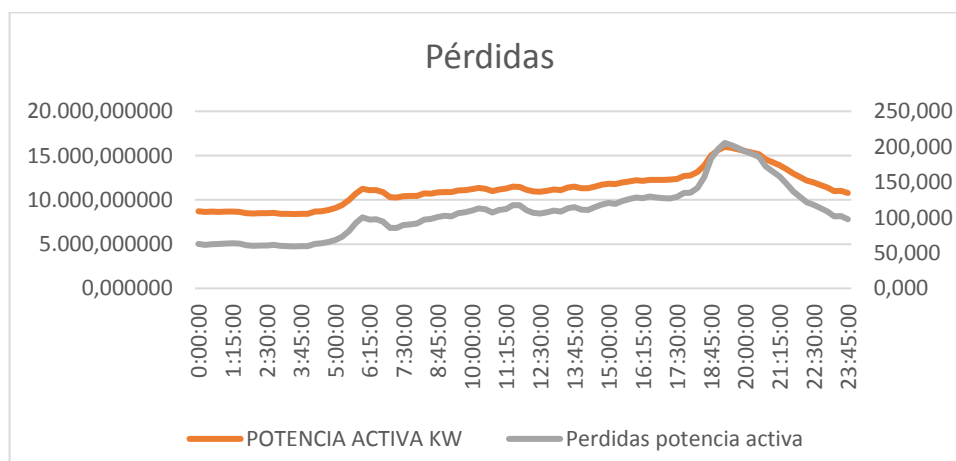


Figura 36. Curva de carga y factor de potencia del sistema Salcedo

De la figura 36, se observa que la curva de pérdidas es similar a la curva de carga de carga del punto frontera Ambato, por cada kW consumido se genera un porcentaje de pérdidas en el sistema eléctrico Salcedo. No existen pérdidas por hurto de energía debido a que es una línea de transmisión de 69kV, considerándose imposible el robo de energía a este nivel de voltaje.

Factor de Potencia

De los registros de medición en el sistema Salcedo, el factor de potencia a demanda máxima en un día típico es de 0,932, a este valor estaría trabajando cuando se toma una potencia desde 10 MW hasta 16 MW, hecho q sucede desde las 18:45 hasta las 21:30, incumpliendo con la condición de la normativa para puntos frontera según CONELEC 004/01 (figura 37). A continuación, se presenta las características principales de las curvas de carga y factor de potencia:

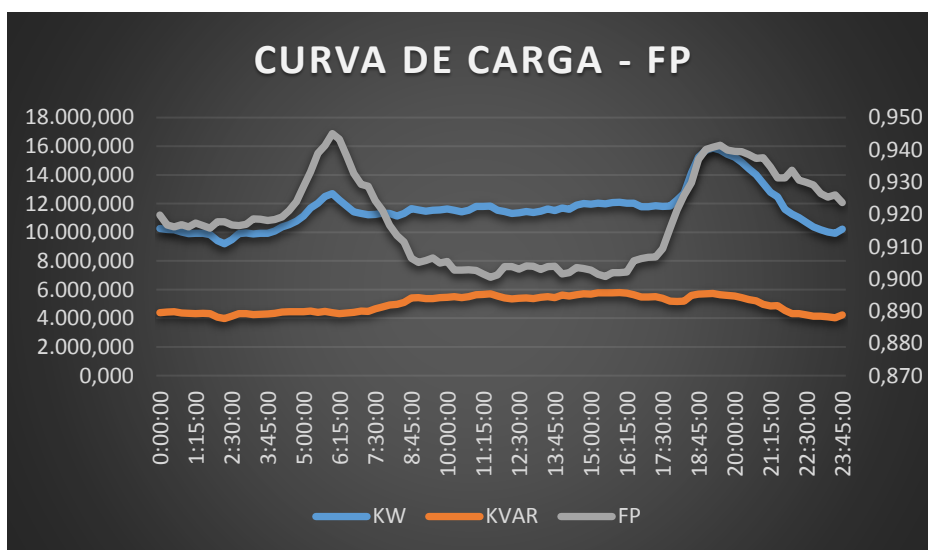


Figura 37. Curva de carga y factor de potencia del sistema Salcedo

De los registros de potencias se puede obtener el factor de carga aplicando la ecuación 4:

$$F_{Carga} = \frac{\bar{D}_{media}}{\bar{D}_{m\acute{a}x}}$$

$$F_{Carga} = \frac{9829,861 \text{ kW}}{15992,963 \text{ kW}}$$

$$F_{Carga} = 0,62$$

b. Planta Fábrica Fairis

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13547,3	67,6783	39,1	153,6	6005,2	5681,6	1944,6	94,61	1,83	0,982
B	13529,3	67,6734	39,1	155,3	6067,1	5635,2	2248,3	92,88	1,96	0,980
C	13546,4	67,7634	39,1	147,8	5781,1	5397,2	2071,6	93,36	1,84	0,982
TOTAL		67,7050	39,1		17849	16714	6265	93,6178	1,88	0,981

Figura 38. Caída de voltaje a demanda máxima subestación Fairis

La variación de voltaje a demanda máxima desde el punto frontera Ambato hasta la subestación Fairis es de 1,88 % (Figura 38), cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar dentro del rango permitido que es del 4%.

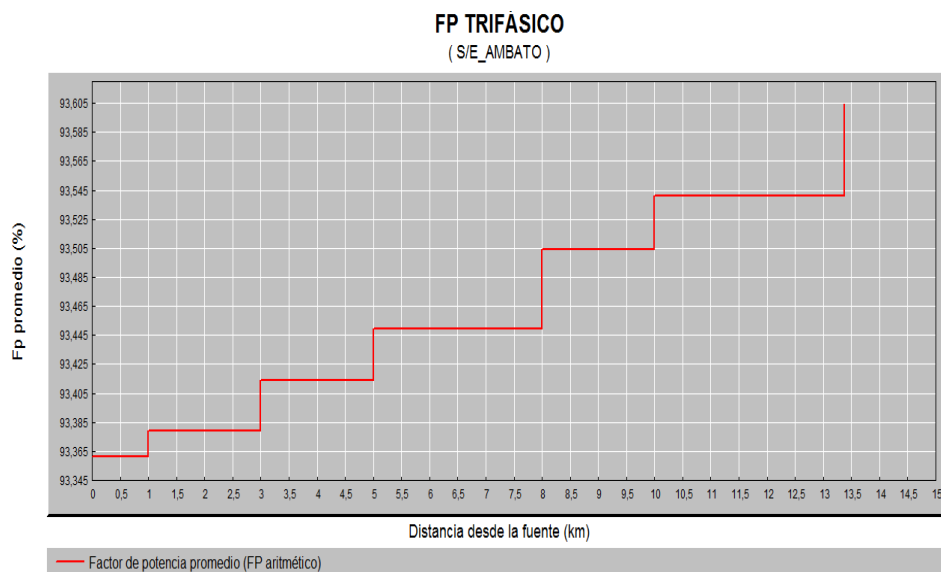


Figura 39. Factor de potencia a demanda máxima hasta la subestación Fairis

De los registros de medición en la subestación Fairis, se obtuvo que el factor de potencia a demanda máxima en un día típico es de 0,936, a este valor estaría trabajando tomando una potencia desde 1.0 MW hasta 1.68 MW, hecho que sucede desde las 05:30 hasta las 11:30, cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01, (Figura 39). A continuación, se presenta las características principales de las curvas de carga y factor de potencia:

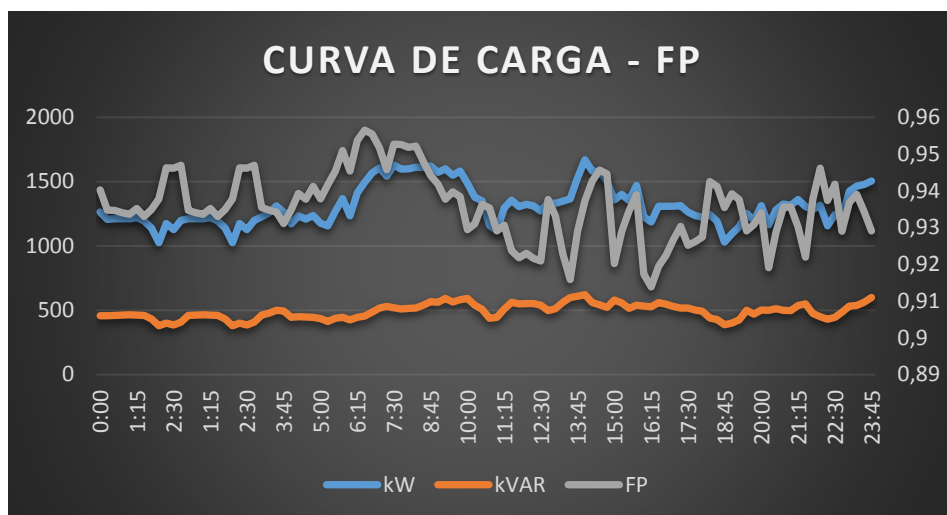


Figura 40. Curva de carga y factor de potencia subestación Fairis

De los registros de potencias se puede obtener el factor de carga aplicando la ecuación 4:

$$F_{Carga} = \frac{\bar{D}_{media}}{\bar{D}_{m\acute{a}x}}$$

$$F_{Carga} = \frac{877,210 \text{ kW}}{1998,884 \text{ kW}}$$

$$F_{Carga} = 0,44$$

c. Planta Fábrica Holcim

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13319,3	66,4935	38,4	38,2	1467,2	1332,4	614,3	90,81	3,48	0,965
B	13287,2	66,4814	38,4	38,2	1463,7	1328,4	614,6	90,76	3,72	0,963
C	13316,9	66,6417	38,4	38,2	1466,8	1330,3	617,8	90,70	3,50	0,965
TOTAL		66,5389	38,4		4398	3991	1847	90,7557	3,57	0,964

Figura 41. Caída de voltaje a demanda máxima subestación Holcim

La variación de voltaje a demanda máxima desde el punto frontera Ambato hasta la subestación Holcim es de 3,57% (Figura 41), cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar dentro del rango permitido que es del 4%.

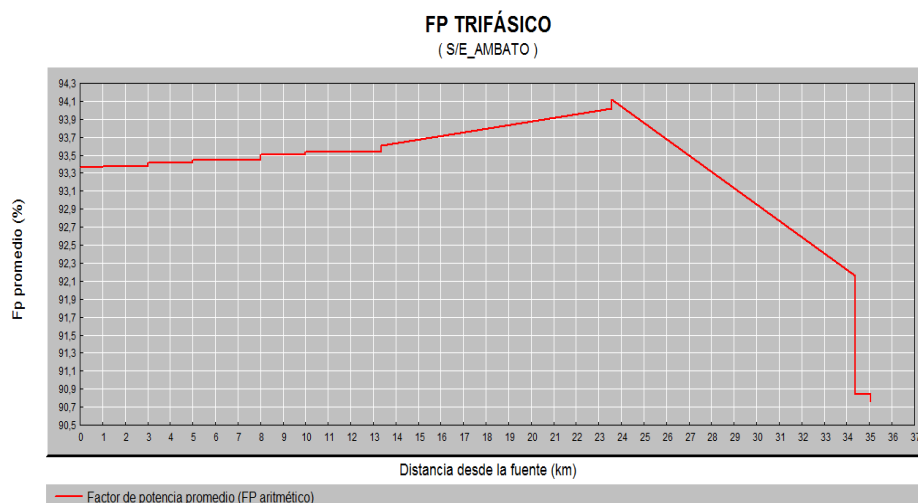


Figura 42. Factor de potencia a demanda máxima hasta la subestación Holcim

De los registros de medición en la subestación Holcim, se obtuvo que el factor de potencia a demanda máxima en un día típico es de 0,907, a este valor estaría trabajando con una potencia desde 1.0 MW hasta 3.5 MW, hecho que sucede desde las 20:30 hasta las 00:00, incumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01, (Figura 42). A continuación, se presenta las características principales de las curvas de carga y factor de potencia en la subestación Holcim:

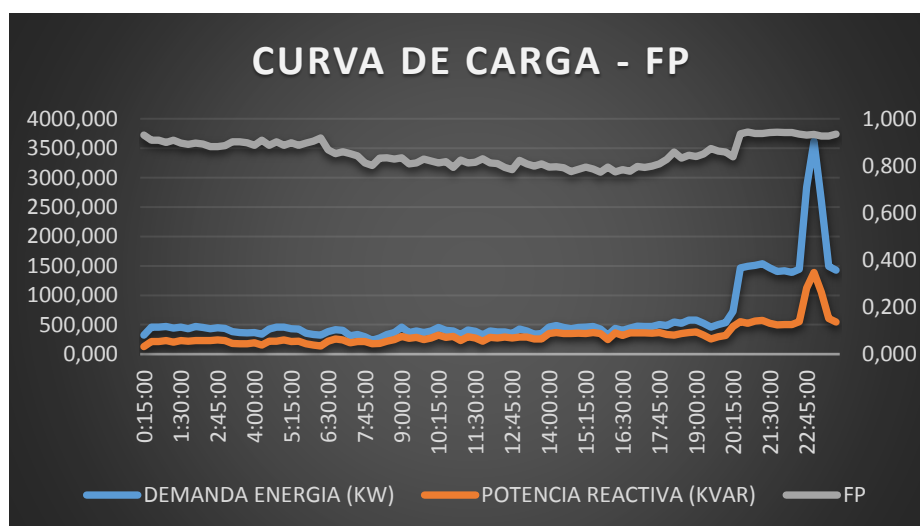


Figura 43. Curva de carga y factor de potencia subestación Holcim.

De los registros de potencias se puede obtener el factor de carga aplicando la ecuación 4:

$$F_{Carga} = \frac{\bar{D}_{media}}{\bar{D}_{m\acute{a}x}}$$

$$F_{Carga} = \frac{3072 \text{ kW}}{3976 \text{ kW}}$$

$$F_{Carga} = 0,98$$

d. Alimentador 1: Salcedo Norte Oriente

	V base	kVLL	kVLN	i [A]	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	12304,3	12,3	7,1	0,8	6,0	5,7	1,9	94,83	10,84	0,892
B	12203,1	12,2	7,0	2,1	14,9	14,1	4,8	94,61	11,57	0,884
C	12269,7	12,3	7,1	3,4	23,8	22,4	7,9	94,35	11,09	0,889
TOTAL		12,3	7,1		45	42	15	94,50	11,17	0,888

Figura 44. Caída de Voltaje a Demanda Máxima - alimentador 1

Estas condiciones de operación se registraron al final del recorrido trifásico, en el seccionador ubicado en la Unidad Educativa Ramón Barba Naranjo Sector el Niagara (figura 44), en el tramo 97318_MTA se tiene condiciones críticas de voltaje y factor de potencia, la variación de voltaje a demanda máxima es de 11,17%, incumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 para medio voltaje al estar fuera de la regulación de voltaje permitido, menor o igual al 8%.

A continuación, se presenta los resultados de caída de voltaje del tramo No. 89949_MTA de la fase C:

	V base	kVLL	kVLN	i [A]	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A										
B										
C	12042,0		7,0	0,3	1,8	1,7	0,5	95,12	12,74	0,873
TOTAL			7,0		2	2	1	95,1191	12,74	0,873

Figura 45. Caída de voltaje en la Fase C - alimentador 1

El recorrido de la fase C está ubicado en el sector de Belisario Quevedo, se considera de consumo netamente residencial, la gran problemática para las excesivas caídas de voltaje (figura 45) son las largas distancias de conductores utilizados entre las distintas cargas, se tiene condiciones críticas de voltaje y factor de potencia, la variación de voltaje a demanda máxima es de 12,74%, incumpliendo con lo establecido

en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 para medio voltaje al estar fuera de la regulación de voltaje permitido, menor o igual al 8%. A continuación, se presenta el resumen del flujo de potencia de la modelación del alimentador 1 a demanda máxima:

Tabla 54
Reporte flujo de potencia del Alimentador 1 de CYMDIST

Parámetros de Estudio				
Nombre del estudio	SUBTRASMISION_DMAX.xst			
Fecha	Sat Aug 06 2016			
Tiempo	16h42m44s			
Método de Calculo	Caída de voltaje – Desequilibrada			
Precisión	0,10%			
Factores de carga	Como definido			
Factores de motor	Como definido			
Factores de generador	Como definido			
Condensadores paralelo	On			
Modelo de carga de sensibilidad	De la biblioteca			
Condiciones anormales	Fase	Conteo	Peor caso	Valor
Sobrecarga	A	4	174892_MTA	505,00 %
	B	0	41322_MTA	130,48 %
	C	4	111042_MTA	119,57 %
Bajo Voltaje	A	1826	174892_MTA	81,39 %
	B	1987	175240_MTA	86,48 %
	C	2563	111042_MTA	86,13 %
Alto Voltaje	A	0	9074_MTA	94,84 %
	B	0	9074_MTA	94,22 %
	C	0	9074_MTA	94,56 %

En la tabla 54, se especifica el estado de las fases más afectadas, la fase C tiene mayor caída de voltaje, los tramos, fusibles, transformadores y seccionadores afectados por caída de voltaje señalados de color rojo y equipos con sobrecarga de color amarillo, ver **ANEXO N**.

Pérdidas

El Alimentador 1 tiene zonas de alta densidad de carga que exigen mayor consumo de energía y por ende generaran mayores pérdidas al sistema eléctrico de potencia, como se identifica en la figura 46.

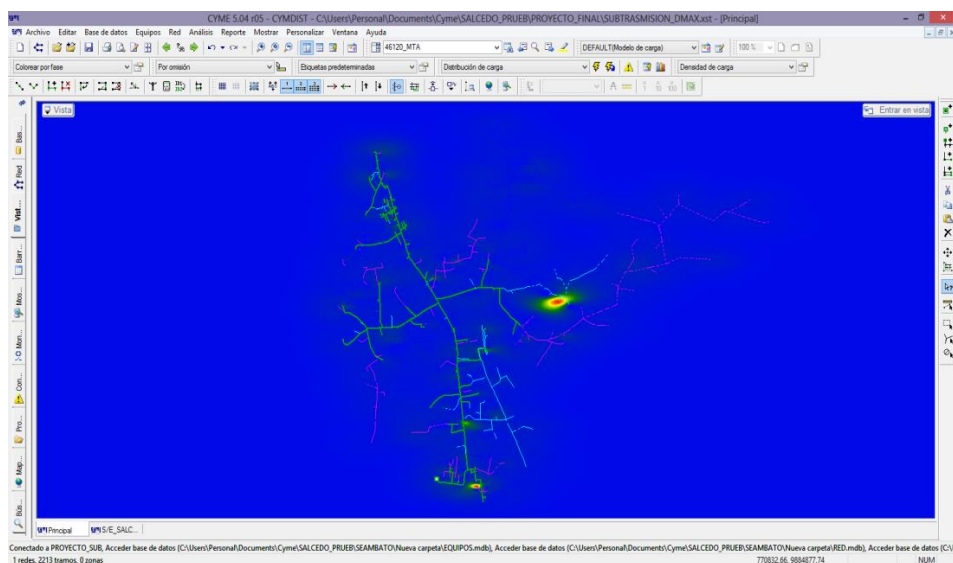


Figura 46. Zonas de mayor densidad de carga - alimentador 1

La zona identificada con colores amarillos sombreados y verdes sombreados son las zonas con alta densidad de carga debido al alto consumo de kWh y el número de clientes conectados a estos transformadores.

**Tabla 55
Reporte de pérdidas en el alimentador 1 de CYMDIST**

Resumen total	kW	KVAR	kVA	FP (%)
Fuentes (potencia de equilibrio)	0,00	0,00	0,00	0,00
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
Producción total	0,00	0,00	0,00	0,00
Carga Leída (no regulada)	2960,95	1015,12	3130,12	94,60
Carga utilizada (regulada)	2919,07	1000,72	3085,84	94,60
Condensadores paralelos (regulados)	0,00	0,00	0,00	0,00
Reactancias paralelo (reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
Cargas totales	2919,07	1000,72	3085,84	94,60
Capacitancia del cable	0,00	3,26	3,26	0,00
Capacitancia de la línea	0,00	28,41	28,41	0,00
Capacitancia paralelo total	0,00	31,67	31,67	0,00
Pérdidas en las líneas	102,83	163,91	193,49	53,15
Pérdidas en los cables	0,00	0,00	0,00	96,21
Pérdidas en los Transformadores	60,16	90,13	108,36	55,52
Pérdidas Totales	166,99	254,04	301,83	54,00

Factor de Potencia

Al final del recorrido del alimentador 1 el factor de potencia es de 0,945, a este valor estaría trabajando cuando se toma una potencia desde 2.1MW hasta 3MW, hecho q sucede desde las 18:00 hasta las 22:00, cumpliendo con la condición de la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar dentro del rango permitido que es del 0,92, (Figura 47).

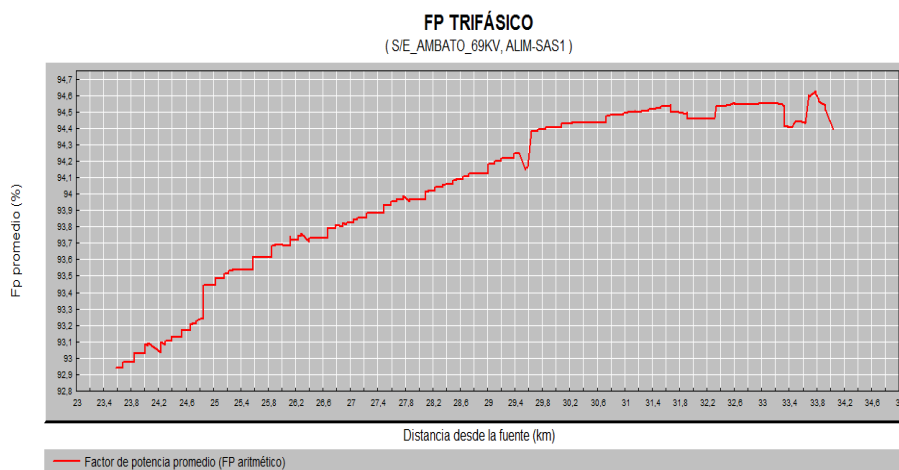


Figura 47. Factor de potencia media - alimentador 1

A continuación, se presenta las características principales de las curvas de carga y factor de potencia en el alimentador 1:

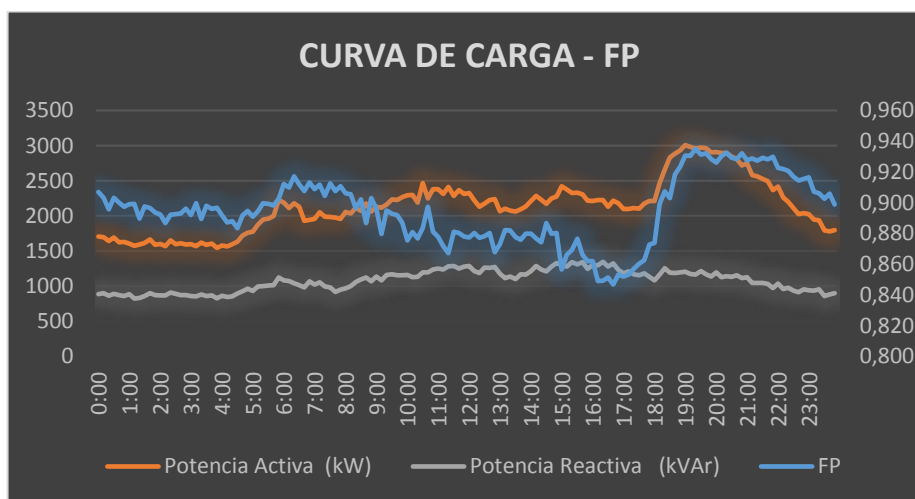


Figura 48. Curva de carga y factor de potencia - alimentador 1

De los registros de potencias se puede obtener el factor de carga del Alimentador aplicando la ecuación 4:

$$F_{Carga} = \frac{\bar{D}_{media}}{\bar{D}_{m\acute{a}x}}$$

$$F_{Carga} = \frac{2003,752 \text{ kW}}{3082,674 \text{ kW}}$$


$$F_{Carga} = 0,65$$

Desbalance de Cargas

La fase A según la tabla 56, tiene un mayor número de transformadores conectados a su circuito eléctrico a comparación de la fase B y C, hecho que ocasiona un desbalance de corrientes y de carga.

Tabla 56
Reporte de desbalance de cargas en el alimentador 1 de CYMDIST

TIPO	FASE	POTENCIA (KVA)	TOTAL KVA POR FASE	TOTAL KVA
TRIFÁSICOS	ABC	15	1	6995
		30	21	
		45	14	
		50	13	
		60	2	
		75	16	
		100	11	
		112,5	2	
		125	1	
		150	1	
		200	3	
		250	1	
		300	1	
		500	2	
MONOFÁSICOS	A	5	9	3642,5
		10	35	
		15	29	
		25	24	
		37,5	11	
		50	6	
		375	4	

CONTINÚA 

	B	5	7	1855
		10	56	
		15	24	
		25	18	
		37,5	8	
		50	3	
	C	5	11	2820
		10	56	
		15	42	
		25	25	
		37,5	16	
		50	7	

La fase C presenta una sobrecarga de corriente con relación a las otras fases (figura 49) del alimentador 1, debido a la sobrecarga de usuarios, de los flujos de potencia se obtuvo que:

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13123,5	13,1	7,6	150,1	1139,1	1056,5	426,0	92,75	4,81	0,951
B	13145,4	13,1	7,6	118,5	900,8	845,5	310,6	93,87	4,65	0,953
C	13042,6	13,0	7,5	190,8	1440,7	1341,5	525,1	93,12	5,40	0,945
TOTAL		13,1	7,6		3480	3244	1262	93,19	4,95	0,950

Figura 49. Caída de voltaje en la fase C - alimentador 1

e. Alimentador 2: Salcedo Centro

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13079,4	13,0	7,6	0,6	4,5	4,5	0,6	99,20	5,13	0,948
B	12943,7	12,9	7,5	0,6	4,5	4,5	0,5	99,30	6,11	0,938
C	12833,7	12,9	7,4	0,6	4,5	4,4	0,5	99,46	6,91	0,930
TOTAL		13,0	7,5		13	13	2	99,32	6,05	0,939

Figura 50. Caída de voltaje a demanda máxima - alimentador 2

Estas condiciones de operación se registraron al final del recorrido trifásico (figura 50), en el tramo 99698_MTA no tienen condiciones críticas de voltaje y factor de

potencia, la variación de voltaje a demanda máxima es de 6,05 %, %, incumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 para medio voltaje al estar dentro de la regulación de voltaje permitido menor o igual al 8%.

A continuación, los resultados de caída de voltaje en la fase C del alimentador 2, tramo No. 46126_MTA monofásico ubicado en sector Central:

	V base	kVLL	kVLN	i [A]	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A										
B										
C	12639,6		7,3	1,3	9,5	9,5	1,4	98,9901	8,32	0,916
TOTAL			7,3		10	9	1	98,9901	8,32	0,916

Figura 51. Caída de voltaje en la fase C - alimentador 2

Este sector se considera de consumo netamente comercial y residencial (figura 51), en la fase C la variación de voltaje a demanda máxima es de 8,32%, incumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 para medio voltaje al estar fuera de la regulación de voltaje permitido menor o igual al 8%. A continuación, se presenta los resultados de la modelación obtenidas en el flujo de potencia a demanda máxima:

Tabla 57
Reporte de flujo de potencia del alimentador 2 de CYMDIST

Parámetros de Estudio				
Nombre del estudio	SUBTRASMISION_DMAX.xst			
Fecha	Sat Aug 07 2016			
Tiempo	12h28m09s			
Método de Calculo	Caída de voltaje – Desequilibrada			
Precisión	0,10%			
Factores de carga	Como definido			
Factores de motor	Como definido			
Factores de generador	Como definido			
Condensadores paralelo	On			
Modelo de carga de sensibilidad	De la biblioteca			
Condiciones anormales	Fase	Conteo	Peor caso	Valor
Sobrecarga	A	3	119868_MTA	158,12 %
	B	8	147396_MTA	160,22 %

CONTINÚA



	C	5	138776_MTA	162,00 %
Bajo Voltaje	A	0	1140815_MTA	92,15 %
	B	44	138742_MTA	91,15 %
	C	234	146128_MTA	89,91 %
Alto Voltaje	A	0	16322_MTA	94,78 %
	B	0	16322_MTA	94,58 %
	C	0	16322_MTA	94,26 %

En la Tabla 57 se especifica el estado de las fases más afectadas, la fase C tiene mayor caída de voltaje, los tramos, fusibles, transformadores y seccionadores afectados por caída de voltaje señalados de color rojo y equipos con sobrecarga señalados de color amarillo, ver **ANEXO O**.

Pérdidas

En el alimentador 2 tiene varias zonas de alta densidad de carga que exigen mayor consumo de energía y por ende generaran mayores pérdidas al sistema eléctrico de potencia, a continuación, se identifica estas zonas:

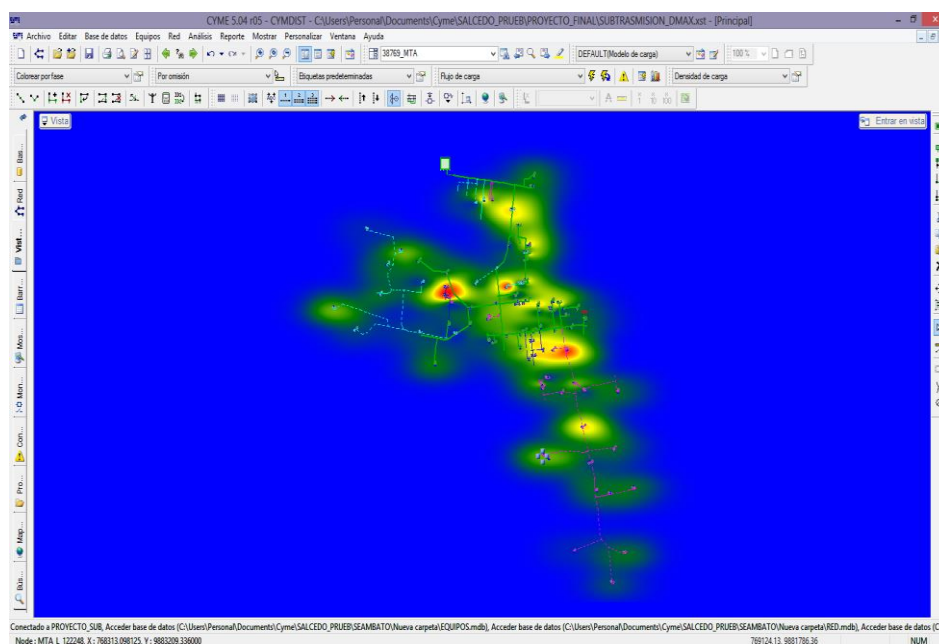


Figura 52. Zonas de mayor densidad de carga - alimentador 2

La zona identificada con colores amarillos sombreados y verdes sombreados son las zonas con alta densidad de carga debido al alto consumo de kWh y el número de clientes conectados a estos transformadores.

Tabla 58
Reporte de pérdidas en el alimentador 2 de CYMDIST

Resumen total	kW	kVAR	kVA	FP (%)
Fuentes (potencia de equilibrio)	0,00	0,00	0,00	0,00
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
Producción total	0,00	0,00	0,00	0,00
Carga Leída (no regulada)	1853,00	184,41	1862,15	99,51
Carga utilizada (regulada)	1853,01	184,40	1862,16	99,51
Condensadores paralelo (regulados)	0,00	0,00	0,00	0,00
Reactancias paralelo (reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
Cargas totales	1853,01	184,40	1862,16	99,51
Capacitancia del cable	0,00	0,98	0,98	0,00
Capacitancia de la línea	0,00	6,25	6,25	0,00
Capacitancia paralelo total	0,00	6,07	6,07	0,00
Pérdidas en las líneas	24,50	7,02	7,02	63,67
Pérdidas en los cables	0,00	0,00	0,00	95,46
Pérdidas en los Transformadores	28,38	67,80	73,50	38,62
Pérdidas Totales	52,88	97,47	110,89	47,69

Factor de Potencia

Al final del recorrido del alimentador 2 el factor de potencia es de 0,99, a este valor estaría trabajando cuando se toma una potencia desde 1.5MW hasta 2.1MW, hecho q sucede desde las 17:45 hasta las 22:15, cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar dentro del rango permitido que es del 0,92, (Figura 53).

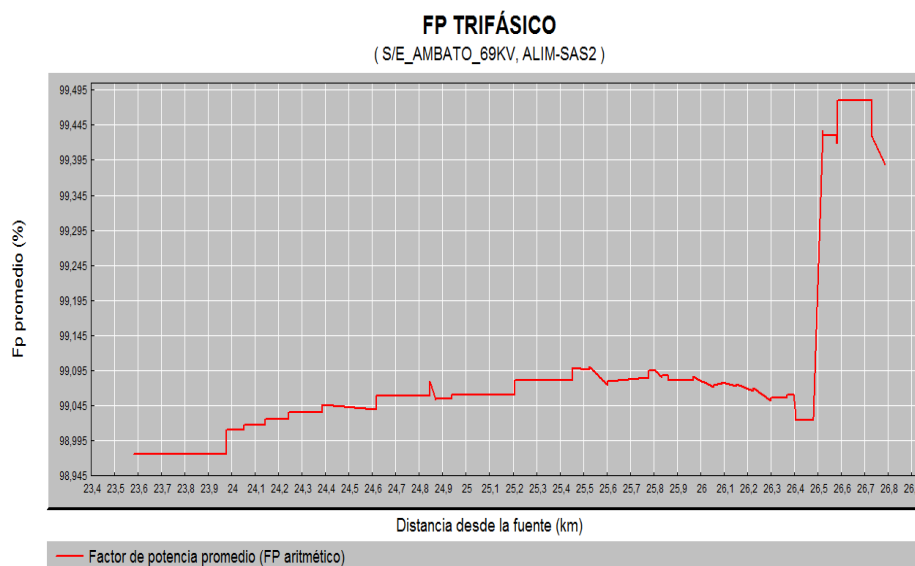


Figura 53. Factor de potencia media - alimentador 2

A continuación, se presenta las características principales de las curvas de carga y factor de potencia en Alimentador 2:

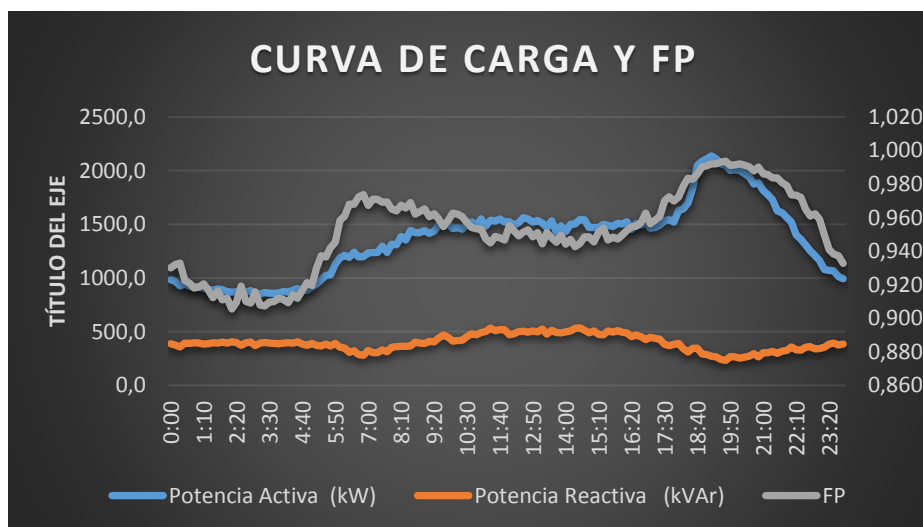


Figura 54. Curva de carga y factor de potencia - alimentador 2

De los registros de potencias se puede obtener el factor de carga del alimentador 2 aplicando la ecuación 4:

$$F_{Carga} = \frac{\bar{D}_{media}}{\bar{D}_{m\acute{a}x}}$$

$$F_{Carga} = \frac{1360,197 \text{ kW}}{1906,301 \text{ kW}}$$

$$F_{Carga} = 0,71$$

Desbalance de cargas

La fase A según la tabla 59, tiene un mayor número de transformadores conectados a su circuito eléctrico a comparación de la fase B y C lo que ocasiona un desbalance de corrientes y de carga.

Tabla 59
Desbalance de cargas en el alimentador 2

TIPO	FASE	POTENCIA (KVA)	TOTAL KVA POR FASE	TOTAL KVA
TRIFÁSICOS	ABC	30	4	2402,5
		45	6	
		50	11	
		75	11	
		100	3	
		112,5	3	
MONOFÁSICOS	A	5	2	867,5
		10	4	
		15	7	
		25	4	
		37,5	5	
		50	1	
		375	1	
	B	10	1	425
		15	1	
		25	3	
		37,5	6	
		50	2	
	C	5	1	562,5
		10	6	
		15	9	
		25	6	
		37,5	3	
		50	2	

Las fases A, B y C no presentan sobrecarga de corriente desde la subestación Salcedo lo que hace que sea un sistema equilibrado, poseen un desequilibrio del 6%, valor aceptable.

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13079,3	13,0989	7,6	72,1	544,8	539,7	74,6	99,0576	5,13	0,948
B	13052,5	13,0311	7,5	86,7	653,8	647,3	92,0	99,0052	5,32	0,946
C	13007,4	13,0089	7,5	96,8	727,0	718,9	108,2	98,8856	5,65	0,943
TOTAL	13,0464	7,5			1926	1906	275	98,9749	5,37	0,945

Figura 55. Desequilibrio de corriente - alimentador 2

f. Alimentador 3: Salcedo Sur

Este alimentador está dividido en dos grandes ramales:

Ramal 1: circuito trifásico final ubicado en el sector de Mulalílo.

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	12498,1	12,4802	7,2	2,8	20,1	19,5	4,8	97,0816	9,34	0,906
B	12084,5	12,2450	7,0	11,3	78,8	76,4	19,2	96,9799	12,34	0,876
C	12645,3	12,4951	7,3	8,8	64,5	62,5	15,6	97,0162	8,27	0,916
TOTAL	12,4093	7,2			163	158	40	97,0068	9,98	0,899

Figura 56. Caída de voltaje a demanda máxima - alimentador 3: Ramal 1

Ramal 2: circuito trifásico final ubicado en el sector de Yanayácu.

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	12253,1	12,0913	7,1	8,3	58,4	56,8	13,6	97,2620	11,12	0,888
B	11774,2	11,7876	6,8	20,4	138,7	134,4	34,4	96,8847	14,59	0,853
C	11737,4	11,8847	6,8	0,0	0,0	-0,0	-0,0	0,7103	14,85	0,851
TOTAL	11,9216	6,9			197	191	48	96,9839	13,52	0,864

Figura 57. Caída de voltaje a demanda máxima - alimentador 3: ramal 2

Se registran las siguientes condiciones de operación al final del recorrido trifásico de los ramales 1 y 2:

En el ramal 1, en el tramo 73061_MTA, la variación de voltaje a demanda máxima es de 9,98 %, incumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01, para medio voltaje al estar dentro de la regulación de voltaje permitido menor o igual al 8%.

En el ramal 2, en el tramo 86450_MTA, la variación de voltaje a demanda máxima es de 13,52 %, incumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/ para medio voltaje al estar dentro de la regulación de voltaje permitido menor o igual al 8%.

A continuación, los resultados de caída de voltaje en las líneas monofásicas de los dos ramales, en el ramal 1 en la fase C del alimentador 3, tramo No. 83937_MTA monofásico:

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	KVAR	FP	DV	V p.u.
A										
B	12025,7		6,9	0,9	6,0	5,9	1,5	96,8908	12,76	0,871
C										
TOTAL			6,9		6	6	1	96,8908	12,76	0,871

Figura 58. Caída de voltaje en la fase B - alimentador 3

En el ramal 2 en la fase C del alimentador 3, tramo No. 83897_MTA monofásico:

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	KVAR	FP	DV	V p.u.
A										
B										
C	11483,1		6,6	14,0	92,9	90,0	22,8	96,9437	16,70	0,832
TOTAL			6,6		93	90	23	96,9437	16,70	0,832

Figura 59. Caída de voltaje en la fase C - alimentador 3

En los ramales 1 y 2, se tiene condiciones críticas de voltaje y factor de potencia, la variación de voltaje a demanda máxima es de 16,70% (figura 58) y 16,70% (figura 59) respectivamente, incumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 para medio voltaje al estar dentro de la regulación de voltaje

permitido menor o igual al 8%. A continuación, se presenta los resultados de la modelación obtenidas en el flujo de potencia a demanda máxima:

Tabla 60
Reporte de flujo de potencia del alimentador 3 de CYMDIST

Parámetros de Estudio				
Nombre del estudio		SUBTRASMISION_DMAX.xst		
Fecha		Sat Aug 07 2016		
Tiempo		16h36m34s		
Método de Calculo		Caída de voltaje – Desequilibrada		
Precisión		0,10%		
Factores de carga		Como definido		
Factores de motor		Como definido		
Factores de generador		Como definido		
Condensadores paralelo		On		
Modelo de carga de sensibilidad		De la biblioteca		
Condiciones anormales	Fase	Conteo	Peor caso	Valor
Sobrecarga	A	3	165108_MTA	178,07 %
	B	3	165108_MTA	180,65 %
	C	2	165108_MTA	178,02 %
Bajo Voltaje	A	2256	165108_MTA	87,20 %
	B	3250	186408_MTA	82,53 %
	C	1952	183854_MTA	81,90 %
Alto Voltaje	A	0	31855_MTA	94,77 %
	B	0	31855_MTA	94,57 %
	C	0	31855_MTA	94,25 %

De la Tabla 60 se especifica las fases más afectadas por caída de voltaje, confirmando que la fase B esta fuera de norma, los tramos, fusibles, transformadores y seccionadores afectados por caída de voltaje señalados de color rojo y equipos con sobrecarga señalados de color amarillo, ver **ANEXO P**.

Pérdidas

En el alimentador 3 tiene varias zonas de alta densidad de carga que exigen mayor consumo de energía y pueden generar mayores pérdidas al sistema eléctrico de potencia, a continuación, se identifica estas zonas:

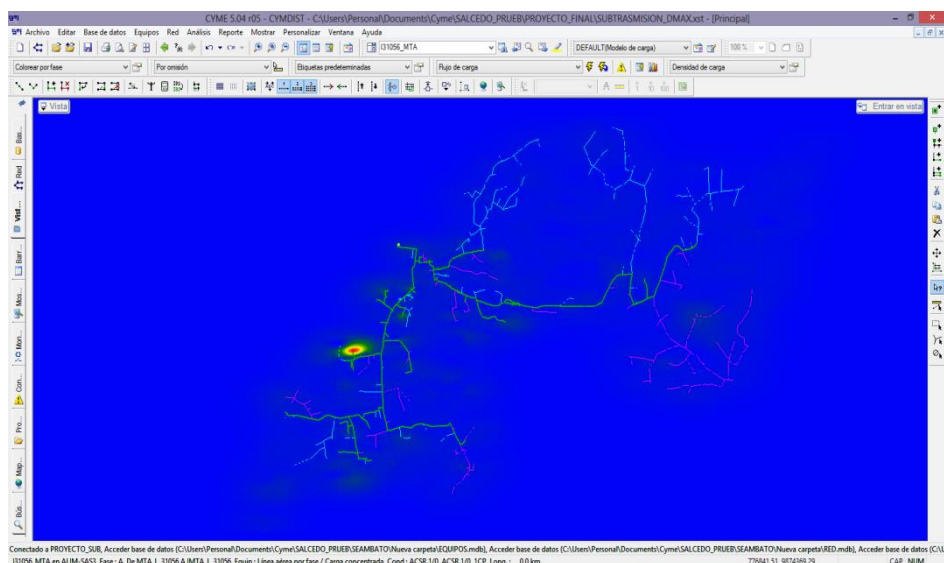


Figura 60. Zonas de mayor densidad de carga - alimentador 3

La zona identificada con colores amarillos sombreados y verdes sombreados son las zonas con alta densidad de carga debido al alto consumo de kWh y el número de clientes conectados a estos transformadores, (figura 60).

**Tabla 61
Reporte de pérdidas del alimentador 3 de CYMDIST**

Resumen total	kW	kVAR	kVA	FP (%)
Fuentes (potencia de equilibrio)	0,00	0,00	0,00	0,00
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
Producción total	0,00	0,00	0,00	0,00
Carga Leída (no regulada)	3632,12	878,45	3736,84	97,20
Carga utilizada (regulada)	3632,14	878,43	3736,86	97,20
Condensadores paralelos (regulados)	0,00	0,00	0,00	0,00
Reactancias paralelo (reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
Cargas totales	3632,14	878,43	3736,86	97,20
Capacitancia del cable	0,00	0,59	0,59	0,00
Capacitancia de la línea	0,00	48,65	48,65	0,00
Capacitancia paralelo total	0,00	49,25	49,25	0,00
Pérdidas en las líneas	158,06	199,08	254,19	62,18
Pérdidas en los cables	0,00	0,00	0,00	98,00
Pérdidas en los Transformadores	60,06	83,38	102,76	58,44
Pérdidas Totales	218,12	282,46	356,88	61,12

Factor de Potencia

Al final del recorrido del alimentador 3 el factor de potencia es de 0,970, a este valor estaría trabajando cuando se toma una potencia desde 2.1MW hasta 3.7MW, hecho q sucede desde las 17:45 hasta las 22:10, cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar dentro del rango permitido que es del 0,92, (Figura 61).

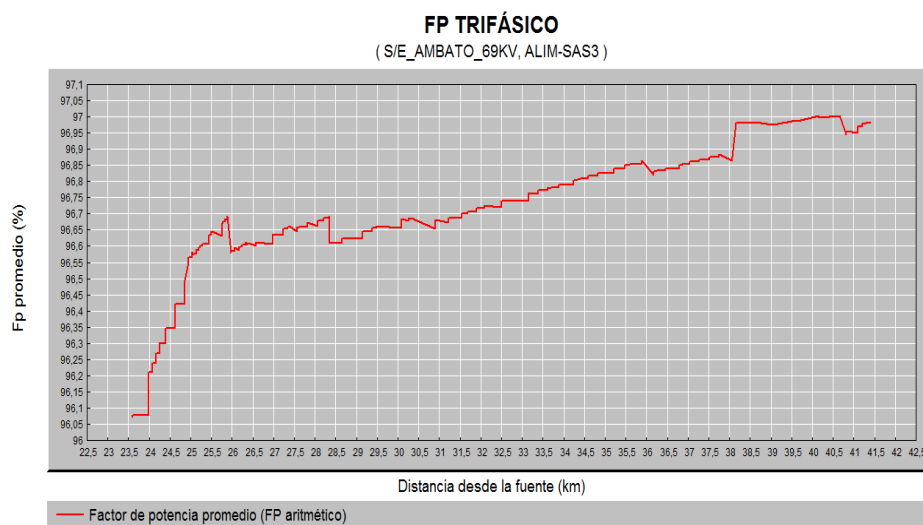


Figura 61. Factor de potencia media - alimentador 3

A continuación, se presenta las características principales de las curvas de carga y factor de potencia en alimentador 3:

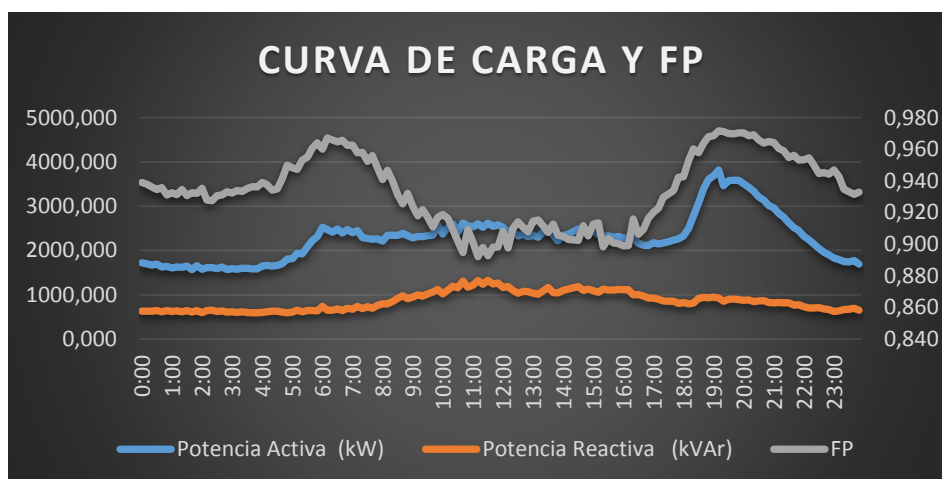


Figura 62. Curva de carga y factor de potencia - alimentador 3

De los registros de potencias se puede obtener el factor de carga del alimentador 2 aplicando la ecuación 4:

$$F_{Carga} = \frac{\bar{D}_{media}}{\bar{D}_{m\acute{a}x}}$$

$$F_{Carga} = \frac{2301,265 \text{ kW}}{3850,756 \text{ kW}}$$


$$F_{Carga} = 0,60$$

Desbalance de cargas

La fase B según la tabla 62, tiene un mayor número de transformadores conectados a su circuito eléctrico a comparación de la fase A y C lo que ocasiona un desbalance de corrientes y de carga.

Tabla 62
Desbalance de cargas en el alimentador 3

TIPO	FASE	POTENCIA (KVA)	TOTAL KVA POR FASE	TOTAL KVA
TRIFÁSICOS	ABC	30	14	5182,5
		45	9	
		50	14	
		60	1	
		75	6	
		100	6	
		112,5	1	
		125	2	
		150	1	
		160	1	
		175	1	
		200	1	
		250	2	
		500	2	
	A	5	20	3177,5
		10	63	
		15	52	
		25	22	
		30	1	
		37,5	5	
		50	1	

CONTINÚA 

MONOFÁSICOS	B	100	1	3322,5
		375	2	
		5	19	
		10	110	
		15	51	
		25	36	
		37,5	7	
		50	2	
		100	1	
		C	5	
	10		60	
	15		37	
	25		24	
	37,5		11	
50	2			

La fase B presenta una sobrecarga de corriente con relación a las otras fases (figura 63) del alimentador 1 debido a la sobrecarga de usuarios, de los flujos de potencia se obtuvo que:

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13077,6	13,0973	7,6	160,5	1211,9	1168,4	321,8	96,4098	5,14	0,948
B	13050,4	13,0292	7,5	212,1	1598,2	1531,4	457,2	95,8214	5,34	0,946
C	13006,4	13,0077	7,5	159,5	1197,6	1150,5	332,7	96,0645	5,66	0,942
TOTAL		13,0448	7,5		4008	3850	1112	96,0720	5,38	0,945

Figura 63. Desequilibrio de corriente - alimentador 3

g. Alimentador 4: Salcedo Occidental

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	11842,5	11,9598	6,8	32,3	221,2	220,7	15,9	99,7410	14,09	0,858
B	11819,0	11,8836	6,8	6,7	45,6	45,5	2,0	99,9032	14,26	0,856
C	12326,6	12,1370	7,1	17,8	126,6	126,4	7,2	99,8359	10,58	0,893
TOTAL		11,9960	6,9		393	393	25	99,7903	12,98	0,869

Figura 64. Caída de voltaje a demanda máxima - alimentador 4

Estos datos son registrados al final del recorrido trifásico de los ramales, por el sector de Mulalillo en el tramo 79424_MTA (figura 64), la variación de voltaje a demanda máxima es de 12,98%, incumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01, para medio voltaje al estar dentro de la regulación de voltaje permitido menor o igual al 8%.

A continuación, los resultados de caída de voltaje en la derivación monofásica en peor condición en la fase B del Alimentador 4, tramo No. 79365_MTA monofásico:

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A										
B	11544,4		6,7	0,7	4,6	4,6	0,3	99,7813	16,25	0,837
C										
TOTAL			6,7		5	5	0	99,7813	16,25	0,837


Figura 65. Caída de voltaje en la fase B - alimentador 4

Este sector se considera de consumo netamente comercial y residencial (figura 65), en la fase B la variación de voltaje a demanda máxima es de 16,25%, incumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 para medio voltaje al estar dentro de la regulación de voltaje permitido menor o igual al 8%.

A continuación, se presenta los resultados de la modelación obtenidas en el flujo de potencia a demanda máxima:

Tabla 63
Reporte de flujo de potencia del alimentador 4 de CYMDIST

Parámetros de Estudio	
Nombre del estudio	SUBTRASMISION _DPROMEDIO.xst
Fecha	Sat Aug 07 2016
Tiempo	21h18m52s
Método de Calculo	Caída de voltaje – Desequilibrada
Precisión	0,10%
Factores de carga	Como definido
Factores de motor	Como definido
Factores de generador	Como definido
Condensadores paralelo	On
Modelo de carga de sensibilidad	De la biblioteca

CONTINÚA 

Condiciones anormales	Fase	Conteo	Peor caso	Valor
Sobrecarga	A	0	I47692_MTA	56,57 %
	B	0	I48078_MTA	75,06 %
	C	0	I48040_MTA	57,00 %
Bajo Voltaje	A	979	185787_MTA	83,86 %
	B	884	I14019_MTA	82,75 %
	C	990	I86746_MTA	87,54 %
Alto Voltaje	A	0	46449_MTA	94,76 %
	B	0	46449_MTA	94,57 %
	C	0	46449_MTA	94,25 %

En la tabla 63 se especifica las fases más afectadas por caída de voltaje, la fase C tiene mayor afectación, los tramos, fusibles, transformadores y seccionadores afectados por caída de voltaje señalados de color rojo y equipos con sobrecarga señalados de color amarillo, ver ANEXO Q.

Pérdidas

En el alimentador 4 tiene varias zonas de alta densidad de carga que exigen mayor consumo de energía y pueden generar mayores pérdidas al sistema eléctrico de potencia, a continuación, se identifica las zonas:

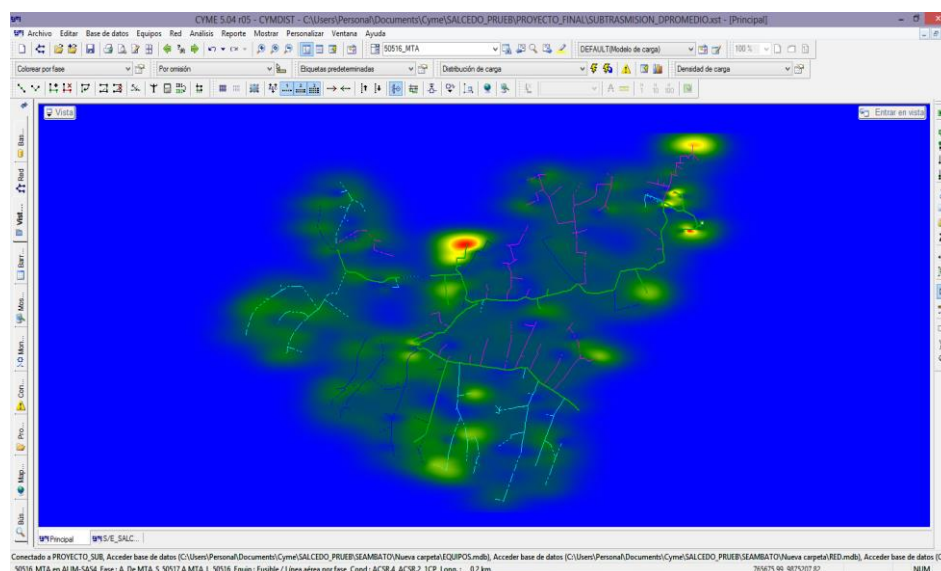


Figura 66. Zonas de mayor densidad de carga - alimentador 4

La zona identificada con colores amarillos sombreados y verdes sombreados son las zonas con alta densidad de carga debido al alto consumo de kWh y el número de clientes conectados a estos transformadores.

Tabla 64
Reporte de pérdidas del alimentador 4 de CYMDIST

Resumen total	kW	kVAR	kVA	FP (%)
Fuentes (potencia de equilibrio)	0,00	0,00	0,00	0,00
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
Producción total	0,00	0,00	0,00	0,00
Carga Leída (no regulada)	1463,83	77,11	1465,86	99,86
Carga utilizada (regulada)	1463,84	77,10	1465,86	99,86
Condensadores paralelos (regulados)	0,00	0,00	0,00	0,00
Reactancias paralelo (reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cargas totales	1463,84	77,10	1465,86	99,86
Capacitancia del cable	0,00	0,01	0,01	0,00
Capacitancia de la línea	0,00	30,47	30,47	0,00
Capacitancia paralelo total	0,00	30,47	30,47	0,00
Pérdidas en las líneas	115,57	125,03	170,26	67,88
Pérdidas en los cables	0,00	0,00	0,00	91,22
Pérdidas en los Transformadores	141,94	35,46	146,30	97,02
Pérdidas Totales	257,51	160,48	303,43	84,87

Factor de Potencia

Al final del recorrido del alimentador 4 el factor de potencia es de 0,997, a este valor estaría trabajando cuando se toma una potencia desde 1.2MW hasta 1.8MW, hecho que sucede desde las 18:30 hasta las 21:00, cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01, (Figura 67).

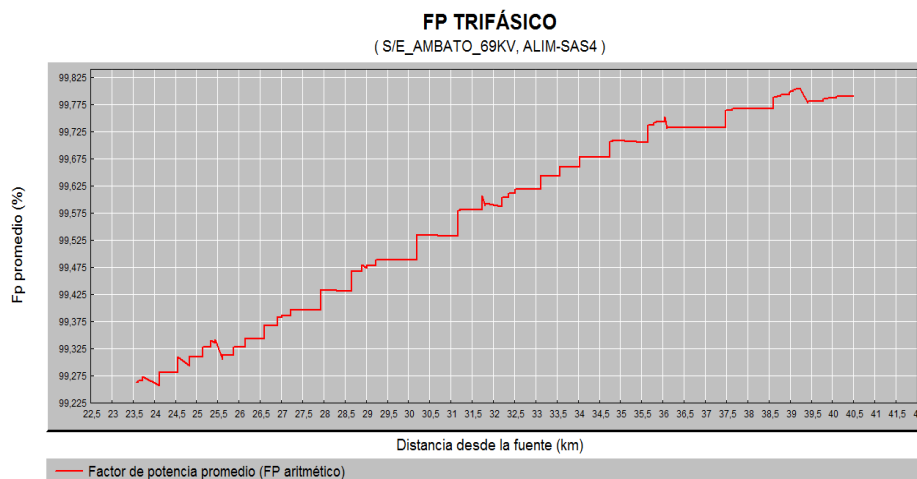


Figura 67 Factor de potencia media - alimentador 4

A continuación, se presenta las características principales de las curvas de carga y factor de potencia en alimentador 4:

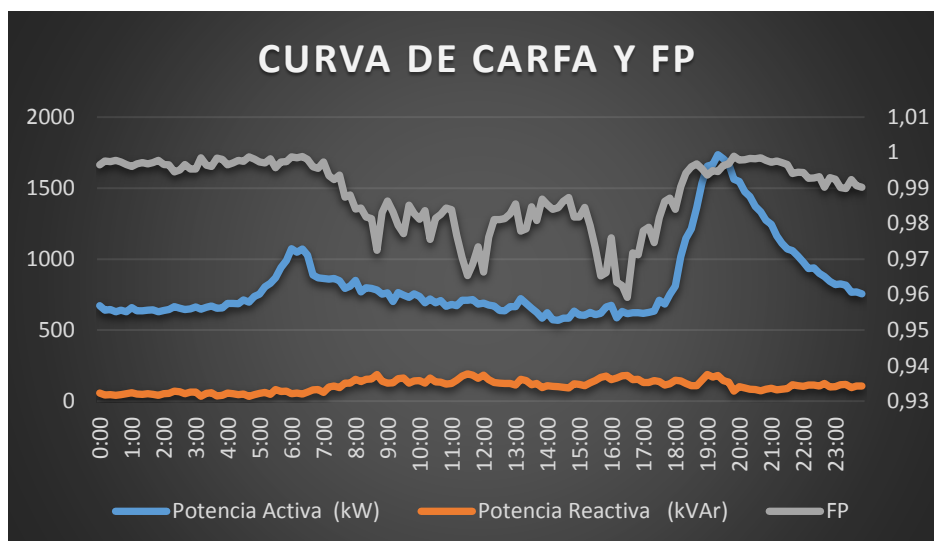


Figura 68 Curva de carga y factor de potencia - alimentador 4

De los registros de potencias se puede obtener el factor de carga del alimentador 4 aplicando la ecuación 4:

$$F_{Carga} = \frac{\bar{D}_{media}}{\bar{D}_{m\acute{a}x}}$$

$$F_{Carga} = \frac{780,07 \text{ kW}}{1721,34 \text{ kW}}$$

$$F_{Carga} = 0,45$$

Desbalance de cargas

La fase C según la tabla 65, tiene un mayor número de transformadores conectados a su circuito eléctrico a comparación de la fase A y C, pero el desbalance entre fases no es considerable.

Tabla 65
Desbalance de cargas en el alimentador 4

TIPO	FASE	POTENCIA (KVA)	TOTAL KVA POR FASE	TOTAL KVA
		30	6	825
		45	1	
		50	3	

CONTINÚA 

TRIFÁSICOS	ABC	75	1	
		100	1	
		125	1	
		150	1	
MONOFÁSICOS	A	5	14	1032,5
		10	53	
		15	18	
		25	5	
		37,5	1	
	B	5	8	940
		10	47	
		15	22	
		25	2	
		50	1	
	C	5	25	1047,5
		10	66	
		15	10	
		25	3	
		37,5	1	

Las fases A, B y C no presentan sobrecarga de corriente desde la subestación Salcedo lo que hace que sea un sistema equilibrado, poseen un desequilibrio del 3,5% considerado como valor aceptable (figura 69).

	V base	kVLL	kVLN	i [A]	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13077,6	13,0974	7,6	73,3	553,9	549,5	69,3	99,2142	5,14	0,948
B	13050,7	13,0295	7,5	84,8	639,0	632,7	88,8	99,0294	5,34	0,946
C	13006,4	13,0077	7,5	72,1	541,3	539,1	49,0	99,5893	5,66	0,942
TOTAL		13,0449	7,5		1734	1721	207	99,2632	5,38	0,945

Figura 69. Desequilibrio de corriente del alimentador 4

4.1.2 Demanda Mínima

Las condiciones iniciales a tomar en cuenta son:

- En el punto frontera Ambato: voltaje nominal 69 kV, variación media de voltaje 0,00% y factor de potencia 0,96.
- Sistema de subtransmisión Salcedo: voltaje nominal 69 kV, variación media de voltaje 4,00% y factor de potencia 0,92.
- Sistema de distribución Salcedo: voltaje nominal 13.80 kV, variación media de voltaje 8,00% y factor de potencia 0,92.

Se analizará las condiciones de operación de la subestación planta industrial Fairis, planta industrial Holcim y de los alimentadores de la subestación Salcedo.

a. Sistema Salcedo

En condiciones de demanda mínima y al realizar la distribución de carga en el programa CYMDIST, se obtuvo los siguientes resultados:

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13800,0	69,0000	39,8	54,5	2169,9	2041,2	736,0	94,0718	0,00	1,000
B	13800,0	69,0000	39,8	55,7	2218,9	2024,9	907,4	91,2561	-0,00	1,000
C	13800,0	69,0000	39,8	51,5	2050,3	1884,6	807,5	91,9177	-0,00	1,000
TOTAL		69,0000	39,8		6436	5951	2451	92,4156	0,00	1,000

Figura 70. Caída de Voltaje a demanda mínima del sistema Salcedo

La regulación de voltaje a demanda mínima cumple con la condición de voltaje de operación de 69 kV (figura 70), en el ANEXO R, se visualiza las condiciones de operación del sistema Salcedo.

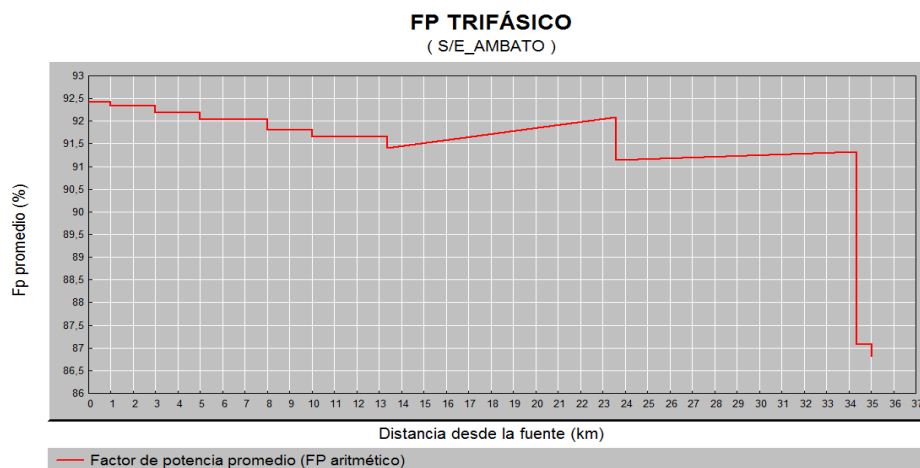


Figura 71. Factor de potencia a demanda mínima del sistema Salcedo.

En el sistema Salcedo, el factor de potencia es de 0,924 a condiciones de demanda mínima (figura 71), incumpliendo con lo establecido en la normativa para puntos frontera según ARCONEL.

b. Planta Industrial Fairis

En condiciones de demanda mínima y al realizar la distribución de carga en el programa CYMDIST, se obtuvo los siguientes resultados:

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13713,3	68,5348	39,6	55,3	2188,1	2041,4	787,5	93,30	0,63	0,994
B	13703,8	68,5346	39,6	56,6	2239,8	2016,8	974,3	90,04	0,70	0,993
C	13713,2	68,5821	39,6	52,0	2057,2	1867,7	862,5	90,79	0,63	0,994
TOTAL		68,6	39,6		6481	5926	2624	91,3776	0,65	0,993

Figura 72. Caída de voltaje a demanda mínima hasta la subestación Fairis

La regulación de voltaje a demanda mínima desde el punto frontera Ambato hasta la subestación Fairis es de 0,65% (Figura 72), cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar dentro del rango permitido que es del 4%.

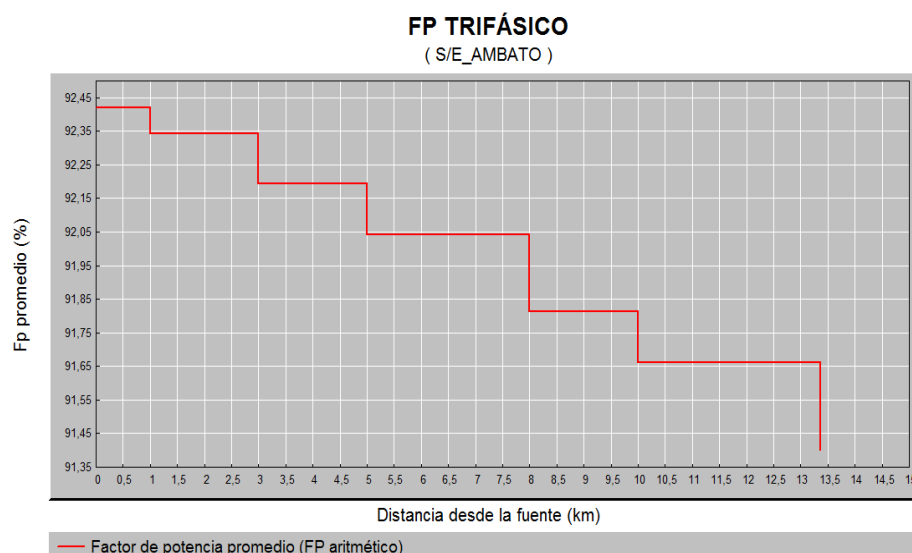


Figura 73. Factor de potencia a demanda mínima hasta la subestación Fairis

De los registros de medición en la subestación Fairis, se obtuvo que el factor de potencia a demanda mínima en un día típico es de 0,997, cumpliendo con lo

establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar dentro del rango permitido mayor o igual a 0,92, (Figura 73).

c. Planta Industrial Holcim

En condiciones de demanda mínima y al realizar la distribución de carga en el programa CYMDIST, se obtuvo los siguientes resultados:

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13599,7	67,9415	39,3	21,6	847,7	746,7	401,4	88,08	1,45	0,985
B	13581,7	67,9324	39,2	21,6	846,6	745,5	401,3	88,05	1,58	0,984
C	13597,9	68,0223	39,3	21,6	847,6	746,0	402,4	88,01	1,46	0,985
TOTAL		67,9654	39,2		2542	2238	1205	88,0491	1,50	0,985

Figura 74. Caída de Voltaje a demanda mínima subestación Holcim

La regulación de voltaje a demanda mínima desde el punto frontera Ambato hasta la subestación Holcim es de 1,50% (Figura 74), cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01, dentro del rango permitido que es del 4%.

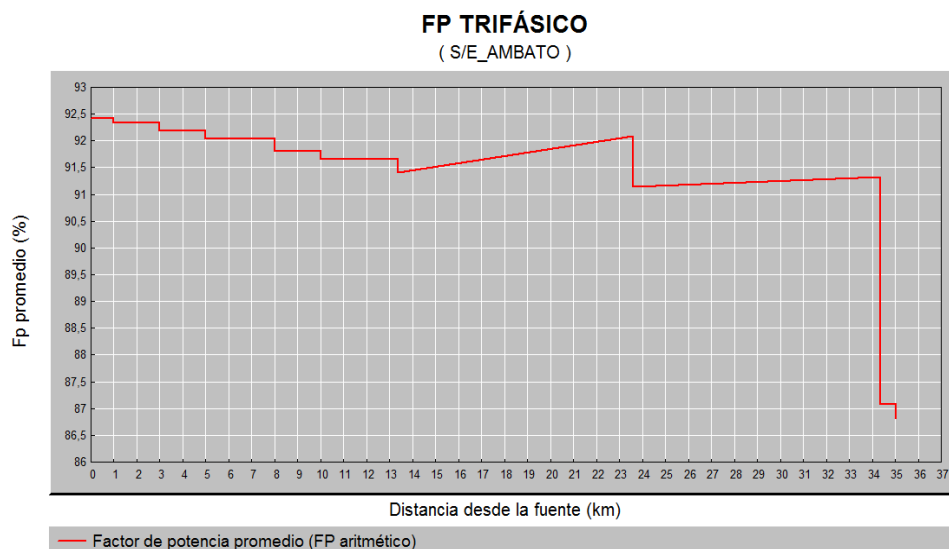


Figura 75. Factor de potencia a demanda mínima subestación Holcim

De los registros de medición se obtuvo que el factor de potencia a demanda mínima en un día típico es de 0,88, incumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar fuera del rango permitido mayor o igual a 0,92, (Figura 75).

d. Alimentador 1: Salcedo Norte Oriente

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13083,9	13,1010	7,6	0,4	2,9	2,5	1,4	88,0521	5,19	0,948
B	13076,6	13,0555	7,5	0,9	7,1	6,2	3,5	86,9164	5,24	0,948
C	13090,0	13,0939	7,6	1,5	11,3	9,8	5,7	86,4382	5,15	0,949
TOTAL		13,0835	7,6		21	18	11	86,8160	5,19	0,948

Figura 76. Caída de voltaje a demanda mínima - alimentador 1

La regulación de voltaje a demanda mínima es de 5,19% (Figura 76), cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 para medio voltaje al estar dentro de la regulación de voltaje permitido menor o igual al 8%.

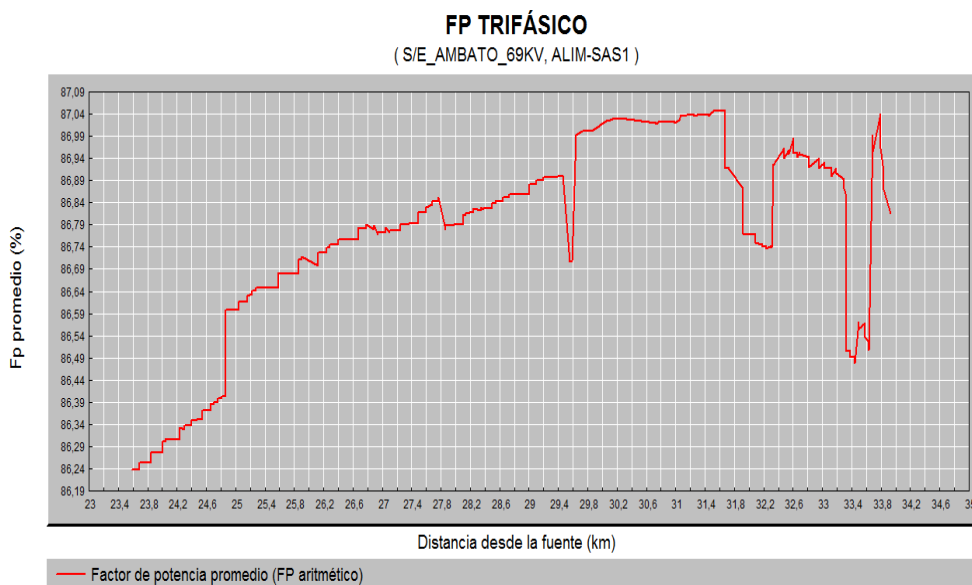


Figura 77. Factor de potencia a demanda mínima - alimentador 1

De los registros de medición se obtuvo que el factor de potencia a demanda mínima en un día típico es de 0,87, incumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar fuera del rango permitido mayor o igual a 0,92, (Figura 77), en los alimentadores no existe banco de capacitores automáticos y/o manuales que permitan tomar acciones correctivas cuando se presenta estos eventos.

e. Alimentador 2: Salcedo Centro

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	KVAR	FP	DV	V p.u.
A	13470,4	13,4470	7,8	0,2	1,7	1,5	0,7	91,5928	2,39	0,976
B	13375,4	13,3587	7,7	0,2	1,7	1,5	0,7	91,8700	3,08	0,969
C	13367,0	13,4071	7,7	0,2	1,7	1,5	0,7	91,7619	3,14	0,969
TOTAL		13,4043	7,7		5	5	2	91,7412	2,87	0,971

Figura 78. Caída de voltaje a demanda mínima - alimentador 2

La regulación de voltaje a demanda mínima es de 2,87% (Figura 78), cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 para medio voltaje al estar dentro de la regulación de voltaje permitido menor o igual al 8%.

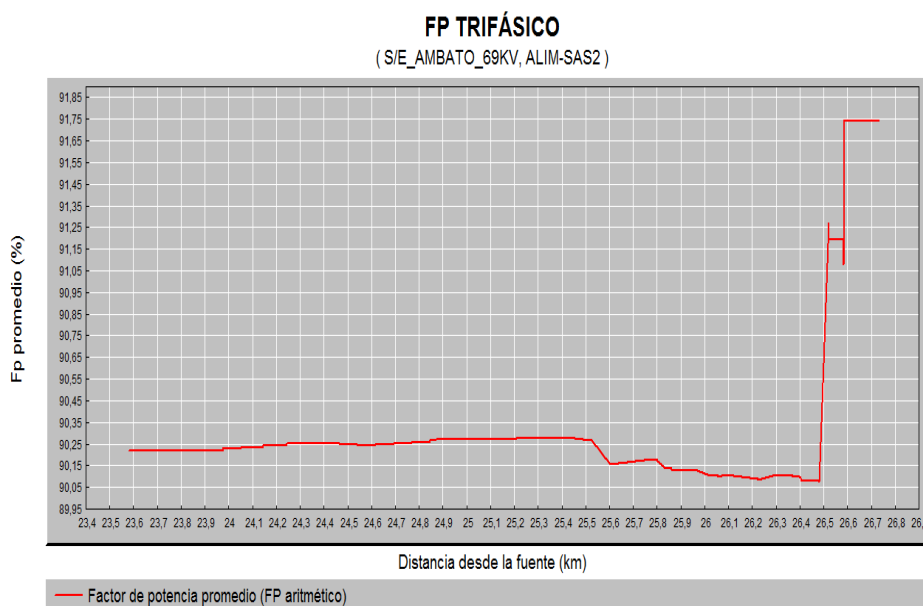


Figura 79. Factor de potencia a demanda mínima - alimentador 2

De los registros de medición se obtuvo que el factor de potencia a demanda mínima en un día típico es de 0,917, incumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar fuera del rango permitido mayor o igual a 0,92, (Figura 79).

f. Alimentador 3: Salcedo Sur

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13219,8	13,1680	7,6	3,5	26,5	25,5	7,3	96,0967	4,20	0,958
B	13045,6	13,0386	7,5	6,7	50,3	48,1	14,5	95,7371	5,47	0,945
C	13054,8	13,1136	7,5	0,6	4,4	4,2	1,2	96,4119	5,40	0,946
TOTAL		13,1067	7,6		81	78	23	95,8910	5,02	0,950

Figura 80. Caída de voltaje a demanda mínima - alimentador 3

La regulación de voltaje a demanda mínima es de 5,02% (Figura 80), cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 para medio voltaje al estar dentro de la regulación de voltaje permitido menor o igual al 8%.

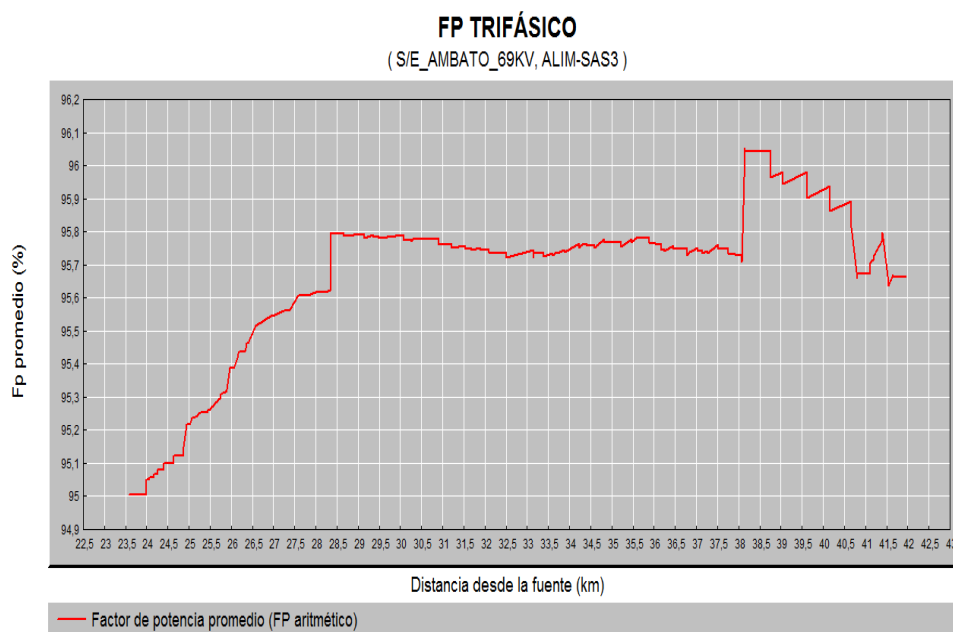


Figura 81. Factor de potencia a demanda mínima - alimentador 3

De los registros de medición se obtuvo que el factor de potencia a demanda mínima en un día típico es de 0,958, cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar dentro del rango permitido mayor o igual a 0,92, (Figura 81).

g. Alimentador 4: Salcedo Occidental

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13299,3	13,2885	7,7	1,0	7,4	7,0	2,2	95,2809	3,63	0,964
B	13127,6	13,1795	7,6	3,8	28,9	27,5	8,8	95,1988	4,87	0,951
C	13351,5	13,3093	7,7	3,1	23,7	22,5	7,4	95,0372	3,25	0,968
TOTAL		13,2595	7,7		60	57	18	95,1451	3,92	0,961

Figura 82. Caída de voltaje a demanda mínima - alimentador 4

La regulación de voltaje a demanda mínima es de 3,92% (Figura 82), cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 para medio voltaje al estar dentro de la regulación de voltaje permitido menor o igual al 8%.

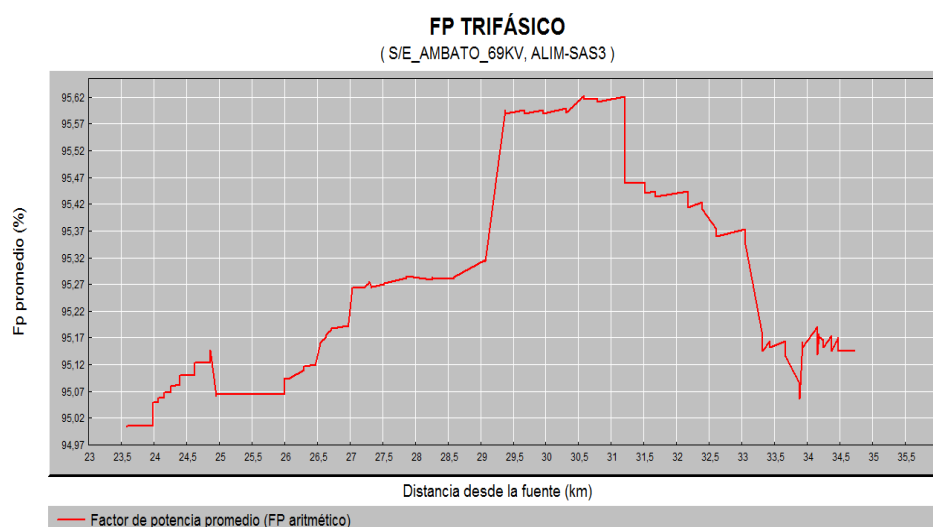


Figura 83. Factor de potencia a demanda mínima - alimentador 4

De los registros de medición se obtuvo que el factor de potencia a demanda mínima en un día típico es de 0,951, cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar dentro del rango permitido mayor o igual a 0,92.

4.1.3 Demanda Media

Las condiciones iniciales a tomar en cuenta son:

- En el punto frontera Ambato: voltaje nominal 69 kV, variación media de voltaje 0,00% y factor de potencia 0,96.

- Sistema de subtransmisión Salcedo: voltaje nominal 69 kV, variación media de voltaje 4,00% y factor de potencia 0,92.
- Sistema de distribución Salcedo: voltaje nominal 13,80 kV, variación media de voltaje 8,00% y factor de potencia 0,92.

Se analizará las condiciones de operación de la subestación planta industrial Fairis, planta industrial Holcim y de los alimentadores de la subestación Salcedo.

a. Sistema Salcedo

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13800,0	69,0	39,8	95,6	3806,6	3577,5	1300,8	93,98	0,00	1,000
B	13800,0	69,0	39,8	96,7	3850,5	3539,2	1516,7	91,92	-0,00	1,000
C	13800,0	69,0	39,8	91,4	3641,2	3371,4	1375,6	92,59	-0,00	1,000
TOTAL		69,0	39,8		11295	10488	4193	92,83	0,00	1,000

Figura 84. Caída de Voltaje a demanda media del sistema Salcedo

La regulación de voltaje a demanda media cumple con la condición de voltaje de operación de 69 kV (figura 84), en el ANEXO S, se visualiza las condiciones de operación del sistema Salcedo.

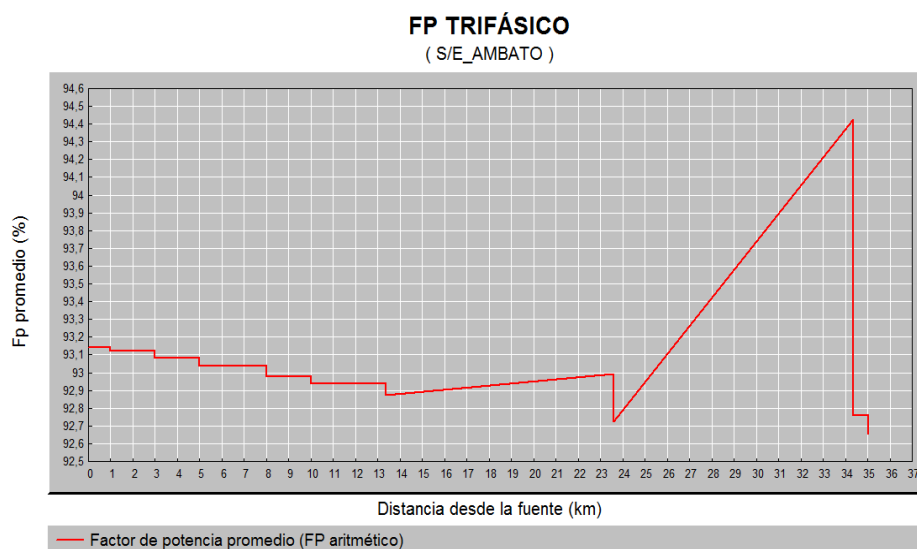


Figura 85. Factor de potencia a demanda media del sistema Salcedo

En el sistema Salcedo, el factor de potencia es de 0,928 a condiciones de demanda media (figura 85), incumpliendo con lo establecido en la normativa para puntos frontera según ARCONEL.

b. Planta Industrial Fairis

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	KVAR	FP	DV	V p.u.
A	13639,1	68,1545	39,4	96,1	3785,0	3552,7	1305,6	93,86	1,17	0,988
B	13626,7	68,1538	39,3	97,3	3828,4	3513,9	1519,8	91,78	1,26	0,987
C	13639,0	68,2160	39,4	92,0	3624,1	3348,7	1385,7	92,40	1,17	0,988
TOTAL		68,1747	39,4		11234	10415	4211	92,6828	1,20	0,988

Figura 86 Caída de Voltaje a demanda media subestación Fairis

La variación de voltaje a demanda media desde el punto frontera Ambato hasta la subestación Fairis es de 1,20% (Figura 86), cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar dentro del rango permitido que es del 4%.

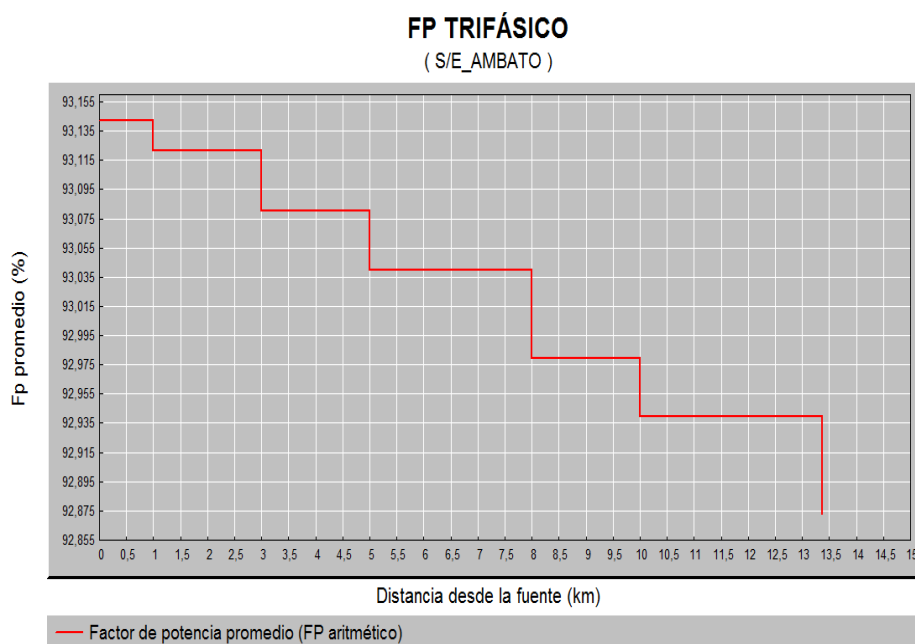


Figura 87. El factor de potencia a demanda media subestación Fairis

De los registros de medición en la subestación Fairis, se obtuvo que el factor de potencia a demanda media en un día típico es de 0,922, cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar dentro del rango permitido mayor o igual a 0,92, (Figura 87).

c. Planta Industrial Holcim

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13483,8	67,3464	38,9	28,5	1109,2	1028,1	416,5	92,68	2,29	0,977
B	13461,7	67,3436	38,9	28,5	1107,4	1026,0	416,8	92,65	2,45	0,975
C	13483,3	67,4541	38,9	28,5	1109,1	1027,2	418,4	92,61	2,30	0,977
TOTAL		67,3814	38,9		3326	3081	1252	92,6487	2,35	0,977

Figura 88. Caída de Voltaje a demanda media subestación Holcim

La variación de voltaje a demanda media desde el punto frontera Ambato hasta la subestación Holcim es de 2,35% (Figura 88), cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar dentro del rango permitido que es del 4%.

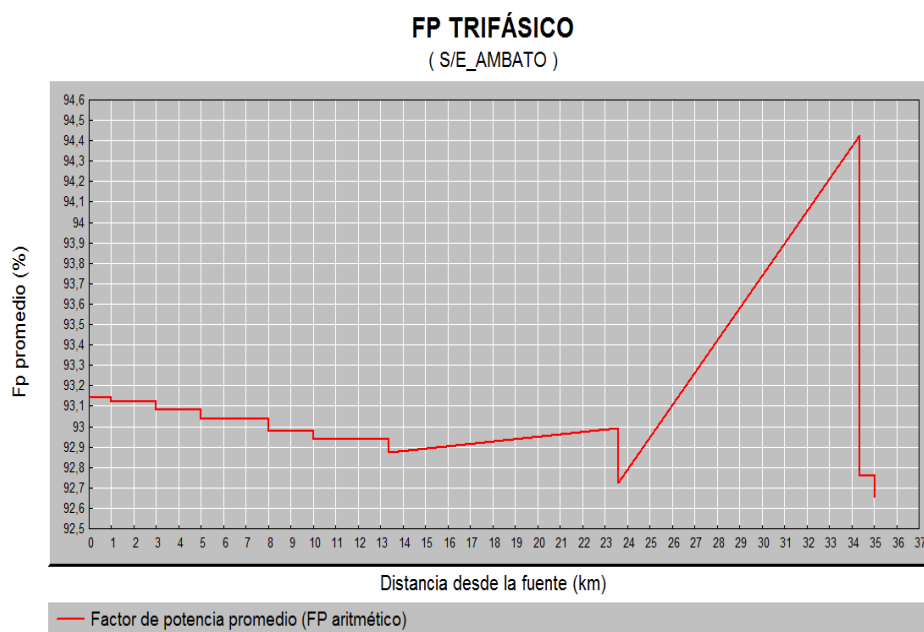


Figura 89. El factor de potencia a demanda media subestación Holcim

De los registros de medición se obtuvo que el factor de potencia a demanda media en un día típico es de 0,926, cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar dentro del rango permitido mayor o igual a 0,92, (Figura 89).

d. Alimentador 1: Salcedo Norte Oriente

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	12718,9	12,7394	7,3	0,5	4,0	3,6	1,7	90,6763	7,83	0,922
B	12704,9	12,6861	7,3	1,3	9,9	8,9	4,3	90,0154	7,94	0,921
C	12738,2	12,7362	7,4	2,1	15,7	14,1	7,0	89,6518	7,69	0,923
TOTAL		12,7207	7,3		30	27	13	89,9109	7,82	0,922

Figura 90. Caída de voltaje a demanda media - alimentador 1

La regulación de voltaje a demanda media es de 7,82% (Figura 90), cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 para medio voltaje al estar dentro de la regulación de voltaje permitido menor o igual al 8%.

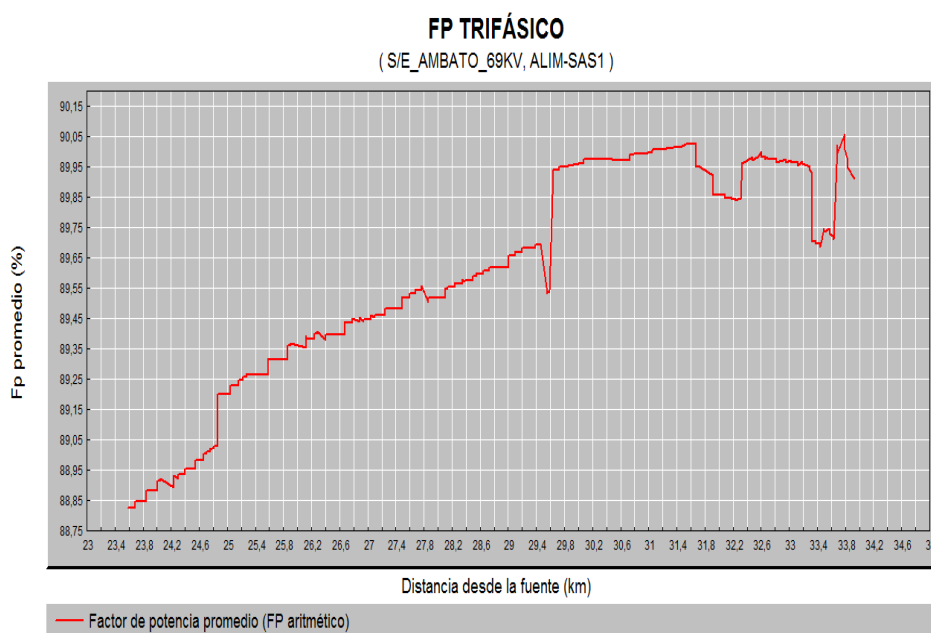


Figura 91. El factor de potencia a demanda media - alimentador 1

De los registros de medición se obtuvo que el factor de potencia a demanda media en un día típico es de 0,89, incumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar fuera del rango permitido mayor o igual a 0,92, (Figura 91), en los alimentadores no existe banco de capacitores automáticos y/o manuales que permitan tomar acciones correctivas cuando se presenta estos eventos.

e. Alimentador 2: Salcedo Centro

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13246,6	13,1959	7,6	0,5	3,5	3,4	0,8	97,5598	4,01	0,960
B	13064,3	13,0623	7,5	0,5	3,5	3,4	0,7	97,7867	5,33	0,947
C	13067,3	13,1199	7,5	0,5	3,5	3,4	0,7	97,7680	5,31	0,947
TOTAL		13,1261	7,6		10	10	2	97,7042	4,88	0,951

Figura 92. Caída de voltaje a demanda media - alimentador 2

La regulación de voltaje a demanda media es de 4,88% (Figura 92), cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 para medio voltaje al estar dentro de la regulación de voltaje permitido menor o igual al 8%.

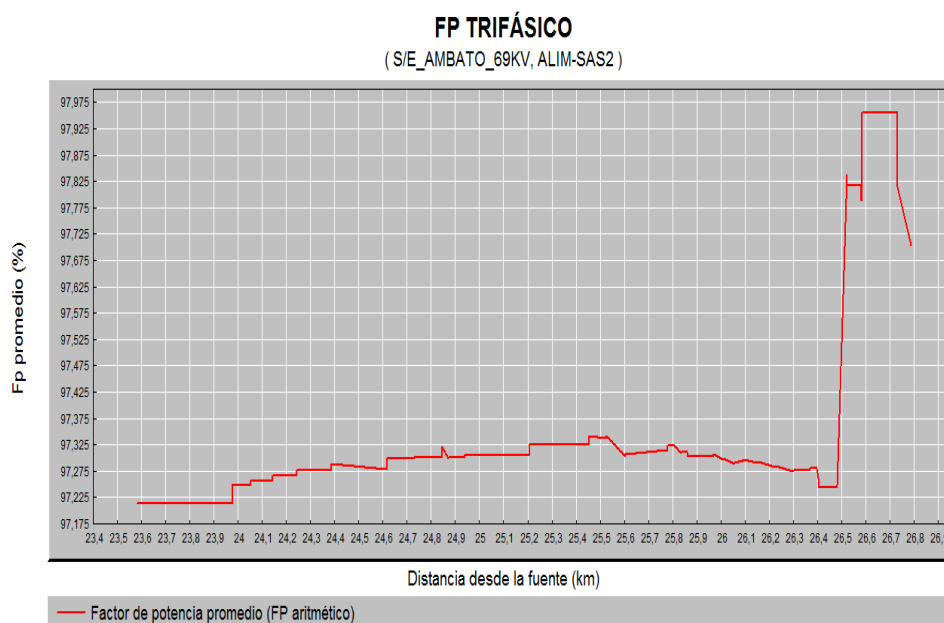


Figura 93. El factor de potencia a demanda media - alimentador 2

De los registros de medición se obtuvo que el factor de potencia a demanda mínima en un día típico es de 0,977, cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar fuera del rango permitido mayor o igual a 0,92, (Figura 93).

f. Alimentador 3: Salcedo Sur

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	12746,2	12,6220	7,4	5,1	37,7	34,5	15,2	91,4888	7,64	0,924
B	12402,6	12,4152	7,2	12,5	89,2	81,2	37,1	90,9528	10,13	0,899
C	12445,2	12,5572	7,2	0,0	0,0	-0,0	-0,0	0,3532	9,82	0,902
TOTAL		12,5314	7,2		127	116	52	91,0914	9,19	0,908

Figura 94. Caída de voltaje a demanda media - alimentador 3

La regulación de voltaje a demanda mínima es de 9,19% (Figura 94), incumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 para medio voltaje al estar dentro de la regulación de voltaje permitido menor o igual al 8%.

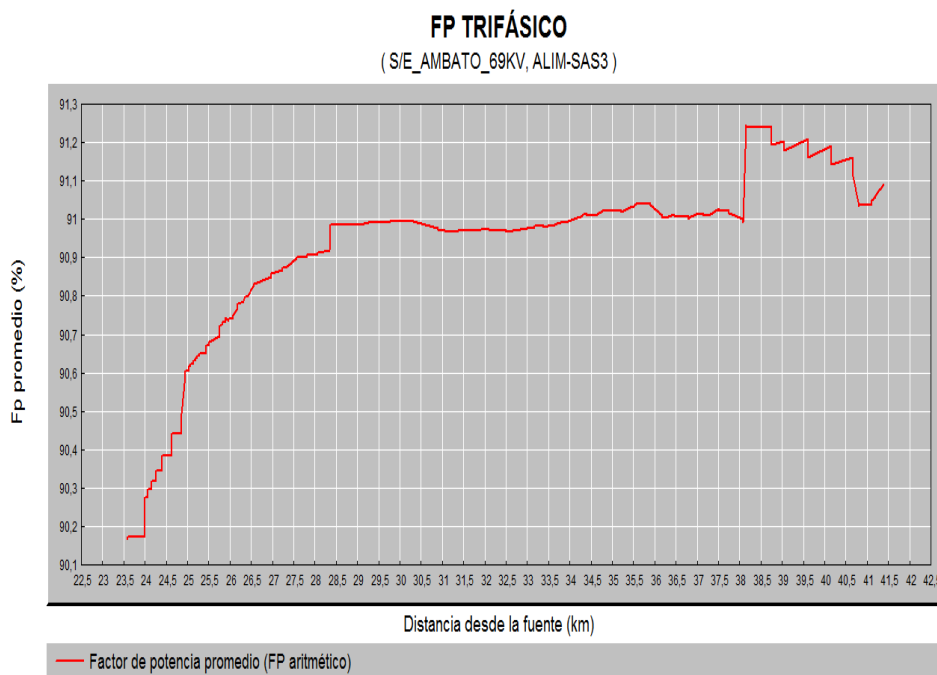


Figura 95. Factor de potencia a demanda media del alimentador 3

De los registros de medición se obtuvo que el factor de potencia a demanda mínima en un día típico es de 0,911, incumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar fuera del rango permitido mayor o igual a 0,92, (Figura 95).

g. Alimentador 4: Salcedo Occidental

Cuadro de flujo de carga

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	12838,2	12,8786	7,4	13,3	98,3	98,3	1,6	99,9862	6,97	0,930
B	12561,7	12,6663	7,3	32,6	236,2	236,2	5,2	99,9754	8,97	0,910
C	13154,8	13,0013	7,6	8,3	63,4	63,4	0,1	99,9997	4,68	0,953
TOTAL		12,8516	7,4		398	398	7	99,9820	6,87	0,931

Figura 96. Caída de voltaje a demanda media - alimentador 4

La regulación de voltaje a demanda mínima es de 6,87% (Figura 96), cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 para medio voltaje al estar dentro de la regulación de voltaje permitido menor o igual al 8%.

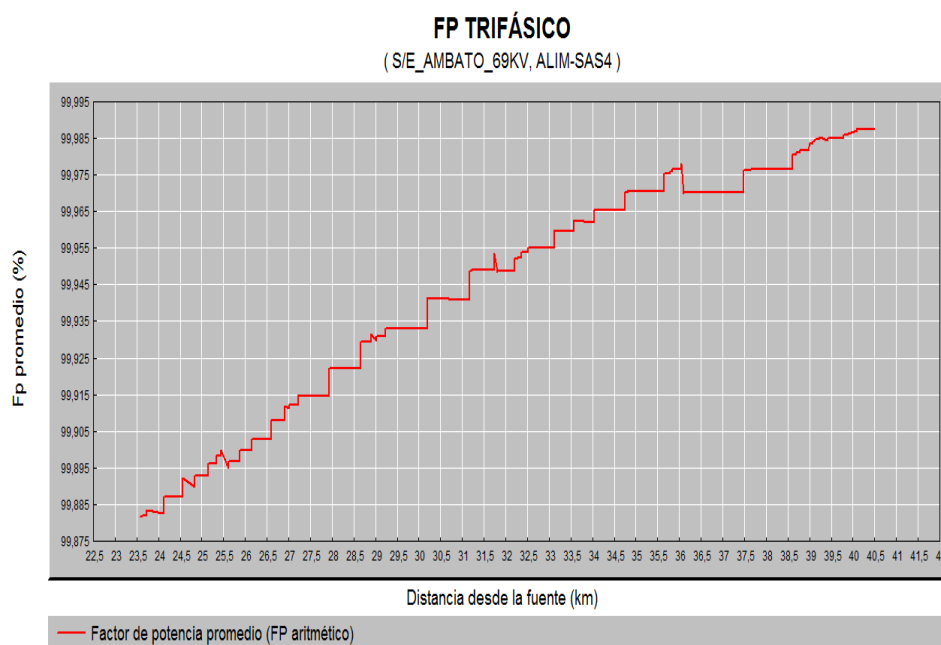


Figura 97. Factor de potencia a demanda media - alimentador 4

De los registros de medición se obtuvo que el factor de potencia a demanda media en un día típico es de 0,994, cumpliendo con lo establecido en la norma ANSI C84.1 y CONELEC 004/01 al estar dentro del rango permitido mayor o igual a 0,92, (Figura 97).

4.2 Condiciones de operación en el sistema de Salcedo a 69kV

Al evaluar las condiciones de operación en el sistema Salcedo, se resume a continuación los resultados obtenidos:

Tabla 66
Condiciones del sistema Salcedo

CASO	Sistema Salcedo	Δ	% ΔV	CUMPLE	
				SI	NO
DEMANDA MAXIMA	Voltaje (kV)	69,00	0,00	X	
	Factor de Potencia	0,932			X
DEMANDA MINIMA	Voltaje (kV)	69,00	0,00	X	
	Factor de Potencia	0,924			X
DEMANDA MEDIA	Voltaje (kV)	69,00	0,00	X	
	Factor de Potencia	0,928			X

Se debe tomar acciones correctivas para mejorar el factor de potencia en el sistema Salcedo, debido a que no cumplen la normativa CONELEC 004/01 Y ANSI C84.1 en ninguna de las tres condiciones evaluadas.


Tabla 67
Condiciones de la subestación Fairis

CASO	Subestación Fairis	Δ	% ΔV	CUMPLE	
				SI	NO
DEMANDA MAXIMA	Voltaje (kV)	67,70	1,88	X	
	Factor de Potencia	0,936		X	
DEMANDA MINIMA	Voltaje (kV)	68,60	0,65	X	
	Factor de Potencia	0,992		X	
DEMANDA MEDIA	Voltaje (kV)	68,17	1,20	X	
	Factor de Potencia	92,68		X	

No se debe tomar acciones correctivas en la subestación Fairis, el nivel de voltaje y factor de potencia cumplen con la normativa CONELEC 004/01 Y ANSI C84.1

Tabla 68
Condiciones de la subestación Holcim

CASO	Subestación Holcim	Δ	% ΔV	CUMPLE	
				SI	NO
	Voltaje (kV)	66,54	3,57	X	

CONTINÚA 

DEMANDA MAXIMA	Factor de potencia	0,907			X
DEMANDA MINIMA	Voltaje (kV)	67,96	1,50	X	
	Factor de potencia	0,88			X
DEMANDA MEDIA	Voltaje (kV)	67,38	2,35	X	
	Factor de potencia	92,64		X	

Se debe tomar acciones correctivas en la subestación Holcim, debido a que no cumplen la normativa CONELEC 004/01 Y ANSI C84.1 en ninguna de las tres condiciones evaluadas.

4.3 Comprobación de hipótesis

Debido a que los alimentadores 1, 3, y 4 están afectados por bajos voltajes y factor de potencia, se utilizará el método experimental en el que se podrá comparar los valores obtenidos en los flujos de potencia con los valores reales, hecho que brinda mayor validez al estudio de redes primarias, posteriormente y de ser el caso tomar acciones correctivas para elevar los voltajes y el factor de potencia.

4.3.1 Alimentador 1: Salcedo Norte Oriente

Para comprobar los datos obtenidos de los flujos de potencia se ha utilizado el método experimental. En un día elegido al azar se realizó mediciones en el seccionamiento No. 7362 de la troncal trifásica principal final del alimentador tomando en cuenta que la hora pico de máxima demanda es a las 19:20, por lo que en coordinación con el Jefe de Operaciones de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi Latacunga se designó el personal para realizar las mediciones en línea viva utilizando el voltímetro tipo pértiga para medio voltaje, de los que se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 69
Datos de las mediciones en la línea trifásica del alimentador 1

ALIMENTADOR 1				
Fase	Voltaje Cymdist	Voltaje Medido	error	%e
Vab	12,43	12,50	0,006	0,560
Vbc	12,50	12,50	0,000	0,000
Vca	12,20	12,00	0,017	1,667

CONTINÚA



Va	7,20	7,10	0,014	1,408
Vb	7,20	7,10	0,014	1,408
Vc	7,00	6,90	0,014	1,449

De la Tabla 69 se determinó que el error promedio que se tiene entre las mediciones realizadas y los valores de CYMDIST es el 1% los datos obtenidos para el flujo de potencia fueron los correctos, es por eso que el departamento de planificación de la ELEPCO S.A realiza sus estudios de flujos de potencia en este programa.


Al momento de realizar las mediciones para mayor facilidad y seguridad de los técnicos se optó por tomar en cuenta los voltajes monofásicos debido a las circunstancias adversas que se presentaron como falta de visibilidad en la noche y dificultad de poder medir voltajes de líneas por lo que se aplicó el factor de $\sqrt{3}$ para obtener estos valores.

4.3.2 Comparación de resultados en los alimentadores 3 y 4

Para comprobar los datos obtenidos de los flujos de potencia se ha utilizado el método experimental. En un día elegido al azar se realizó mediciones en el seccionamiento No. 33052 de la troncal trifásica principal final del alimentador 3 y 4, pues en este punto como ya se ha mencionado es un seccionamiento que actualmente se encuentra abierto, el lugar para realizar las mediciones es un sitio estratégico pues permite obtener voltajes de dos alimentadores lo que nos ahorra tiempo y movilización. En este lugar seleccionado se tomó en cuenta que la hora pico de máxima demanda es a partir de las 19:15, de igual manera se coordinó con el Jefe de Operaciones de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi Latacunga para que se designe el personal para realizar las mediciones en línea viva utilizando el voltímetro tipo pértiga para medio voltaje, de los que se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 70
Datos de las mediciones en la línea trifásica del Alimentador 3

ALIMENTADOR 3				
Fase	Voltaje Cymdist	Voltaje Medido	error	%
Vab	12,50	12,50	0,000	0,000
Vbc	12,33	11,70	0,054	5,385
Vca	12,50	12,50	0,000	0,000

CONTINÚA 

Va	7,30	7,20	0,014	1,389
Vb	7,00	6,80	0,029	2,941
Vc	7,40	7,20	0,028	2,778

De la Tabla 70 se determinó que el error promedio que se tiene entre las mediciones realizadas y los valores de CYMDIST es el 2,8% debido a la variación de demanda y la diferencia entre valores medidos obtenidos y medidos obtenidos.

Tabla 71

Datos de las mediciones en la línea trifásica del Alimentador 4

ALIMENTADOR 4				
Fase	Voltaje Cymdist	Voltaje Medido	error	%
Vab	11,90	11,60	0,026	2,586
Vbc	11,90	11,70	0,017	1,709
Vca	12,14	12,00	0,012	1,167
Va	6,80	6,70	0,015	1,493
Vb	6,90	6,80	0,015	1,471
Vc	7,10	7,00	0,014	1,429

De la Tabla 71 se determinó que el error promedio que se tiene entre las mediciones realizadas y los valores de CYMDIST es el 1,64% un error no considerable ya que se utilizó una infinidad de registros para determinar demandas máximas.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

5.1 Datos informativos

- **Institución ejecutora:**
 - Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.
- **Beneficiarios:**
 - Tesistas
 - Comunidad de Salcedo
 - Sistema Eléctrico a nivel de Distribución (13.8 kV) y Subtransmisión (69 kV).
- **Ubicación:**
 - Provincia de Cotopaxi, Cantón Salcedo, Parroquia San Miguel de Salcedo.
- **Equipo Técnico Responsable**
 - El equipo responsable de la investigación está representado, realizado y ejecutado por el Señor Carlos Danilo Mise Guanoluisa y la Señora Nancy Elizabeth Chaquinga Bonifa con la directora de tesis Ing. Ibeth de los Ángeles Delgado Montenegro docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga y con el Ing. Henry Calle Cuenca Jefe de Operaciones de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A.

5.2 Antecedentes de la propuesta

Debido a los bajos niveles de voltaje y factor de potencia encontrado en los distintos casos de estudio del diagnóstico de la subestación Salcedo, alimentadores y el sistema Salcedo, se hace necesario tomar acciones correctivas que permitan mejorar estas condiciones de operación y calidad de energía, basados en normativas Internacionales y Nacionales.

5.3 Justificación

ELEPCO S.A. como empresa distribuidora de energía eléctrica debe controlar y regular para que el nivel de voltaje y factor de potencia según lo refiere la regulación nacional del CONELEC 004/001 sea cumplido, la verificación de estos parámetros en los alimentadores primarios servirá para planificar y tomar acciones correctivas para cumplir con lo establecido en la regulación.

El constante crecimiento de la demanda provoca pérdidas en el sistema por causa de corrientes elevadas y niveles bajos de voltaje, exigiendo de manera forzada a la fuente en este caso a la subestación mayor consumo de reactivos y potencia.

5.4 Objetivos

5.4.1 Objetivo General

Elevar el nivel de voltaje y factor de potencia de los alimentadores entre la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. y la conexión con el punto frontera AMBATO, para mejorar la calidad de energía.

5.4.2 Objetivos Específicos

- Modelar los alimentadores primarios de la subestación Salcedo, en el software de simulación eléctrica CYMDIST.
- Establecer alternativas de mejoramiento de calidad de energía eléctrica en el sistema eléctrico Salcedo.

5.5 Fundamentación de la propuesta

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. al ser una distribuidora de energía eléctrica debe cumplir con los reglamentos y normativas establecidas por el ARCONEL, para que la energía tanto a nivel de usuario y de distribuidor sea energía de calidad.

Debido a cargas no lineales y expansión de la demanda, se han convertido en factores que afectan al factor de potencia y al nivel de voltaje, en la actualidad ELEPCO S.A. las condiciones de operación en el punto frontera no están cumpliendo

con las normativas por lo que se desea tomar acciones correctivas, para evitar sanciones futuras y de ser el caso, daños al sistema eléctrico de la subestación Ambato.

5.6 Diseño de la propuesta

Para mejorar el factor de potencia en el punto frontera de la subestación Ambato, se considerará tres escenarios para instalar los capacitores y elevar el factor de potencia:

- **Escenario 1:** instalar capacitores en Holcim
- **Escenario 2:** instalar capacitores en el Alimentador 1 – subestación Salcedo
- **Escenario 3:** instalar capacitores en Holcim y Alimentador 1 – subestación Salcedo

Estas propuestas permitirán evaluar el factor de potencia y elegir cual es la mejor acción correctiva que se pueda realizar.

Los alimentadores de la subestación Salcedo presentan distintas condiciones de voltaje y factor de potencia, por lo que la propuesta que será de acuerdo a la necesidad que requiera el alimentador. Las soluciones a considerar son:

- Balance de cargas en alimentadores primarios
- Cambio del calibre de conductor
- Instalación de banco de capacitores y/o reguladores
- Instalación de nuevos puntos de servicio, subestaciones.

Se tomará en consideración las condiciones de operación descritas a continuación, en el literal **5.6.1**, para seleccionar la solución que se implementara para optimizar el nivel de voltaje y el factor de potencia en el sistema de subtransmisión y distribución Salcedo.

5.6.1 Condiciones de operación - Alimentador 1

Demanda Máxima

En el Alimentador 1, en la tabla 66 se muestran las condiciones de operación actuales:

Tabla 72
Características de operación del Alimentador 1

CASO	Alimentador 1	Δ	% ΔV	CUMPLE	
				SI	NO
DEMANDA MAXIMA	Voltaje (kV)	12,40	10,1		X
	Factor de Potencia	0,89			X
DEMANDA MINIMA	Voltaje (kV)	13,20	4,51	X	
	Factor de Potencia	0,87			X
DEMANDA MEDIA	Voltaje (kV)	12,80	7,07	X	
	Factor de Potencia	0,89			X

En todos los casos de estudio se tiene un bajo factor de potencia por lo que las soluciones a tomar en este alimentador son: la instalación de banco de capacitores y el balance de cargas utilizando el Software Cymdist.

Factor de Potencia

La modelación con banco de capacitores se la realizará en demanda máxima pues es la condición más crítica que presenta el alimentador a continuación, se muestra los pasos a seguir en la librería de CYMDIST para la ubicación óptima de capacitores:

1. Realizar la distribución de carga para el alimentador 1.

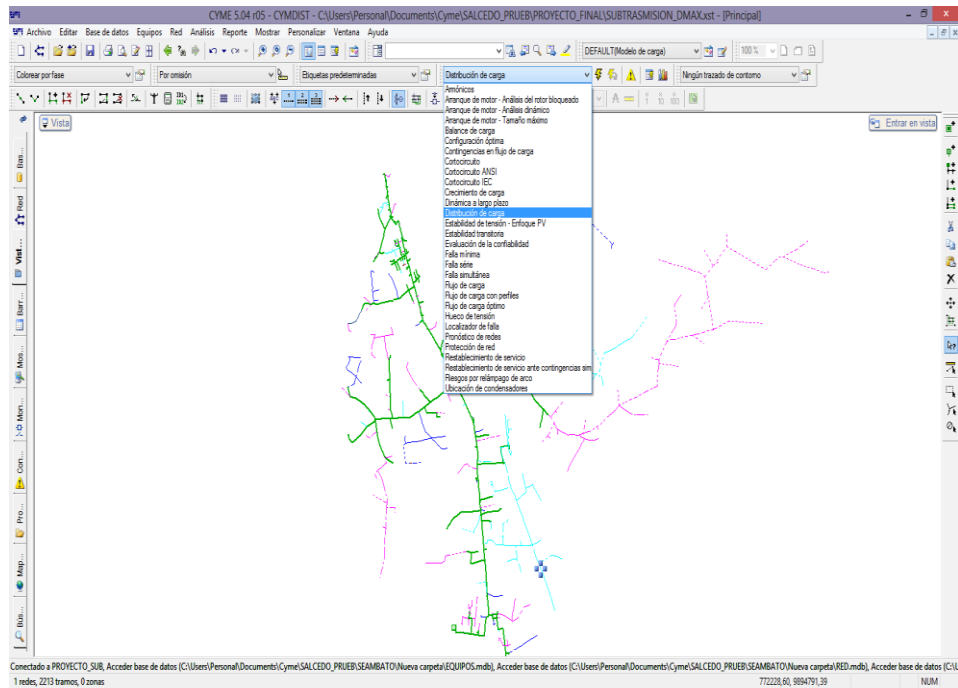


Figura 98. Distribución de carga en el alimentador 1

2. Como se seleccionó el modelamiento para la condición más crítica, se ingresa la demanda máxima del alimentador 1:

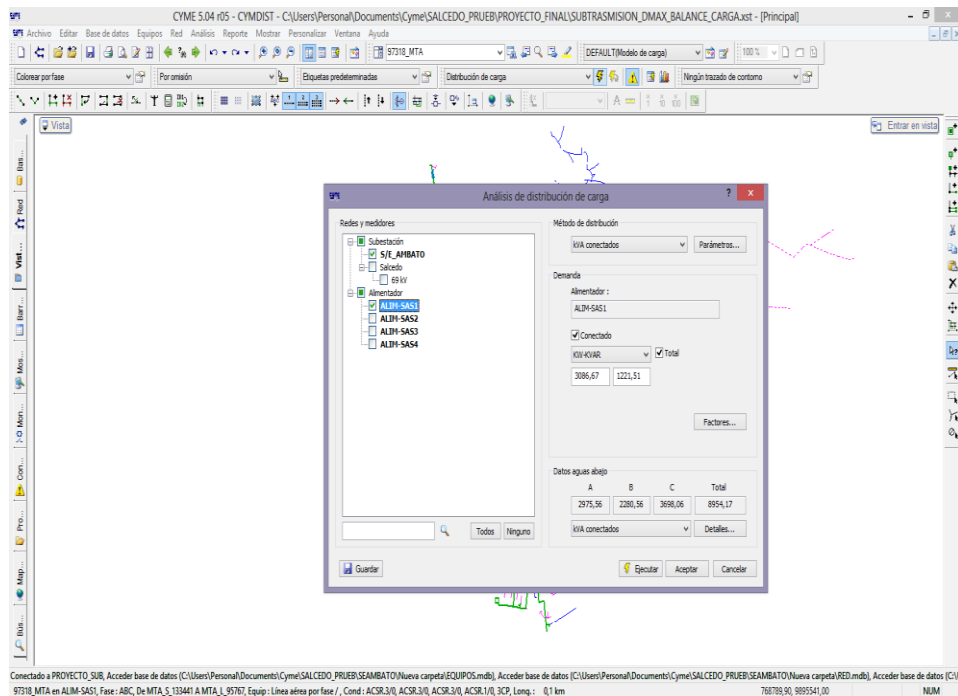


Figura 99. Distribución de demanda máxima en el alimentador 1

3. A continuación, se visualiza la distribución de carga en el alimentador y se realiza el flujo de potencia o flujo de carga.

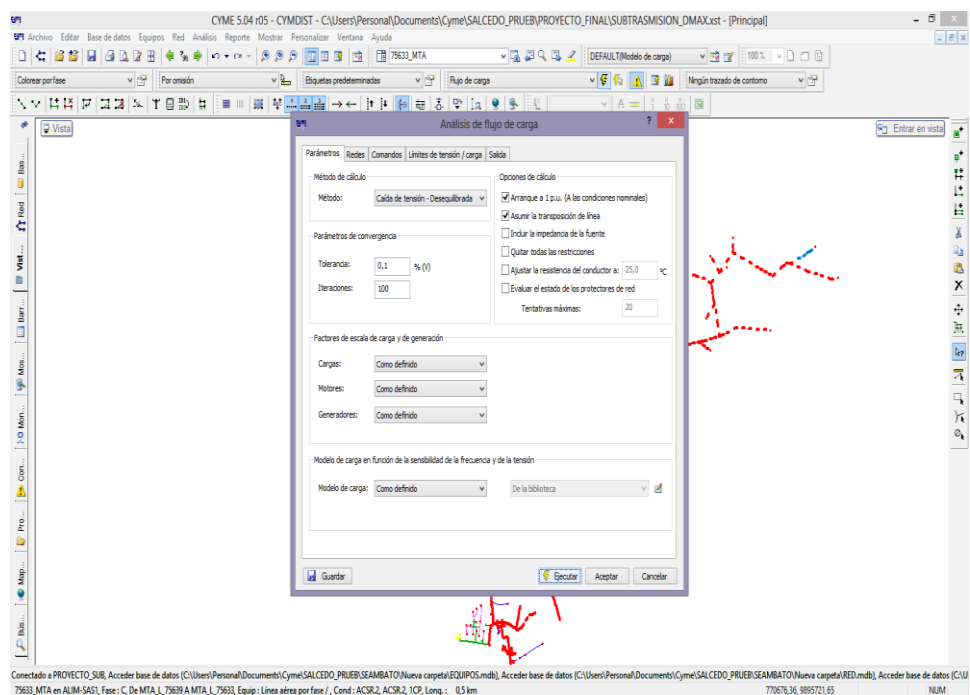


Figura 100. Flujo de carga en el alimentador 1

4. Seleccionar el módulo de ubicación óptima de capacitores

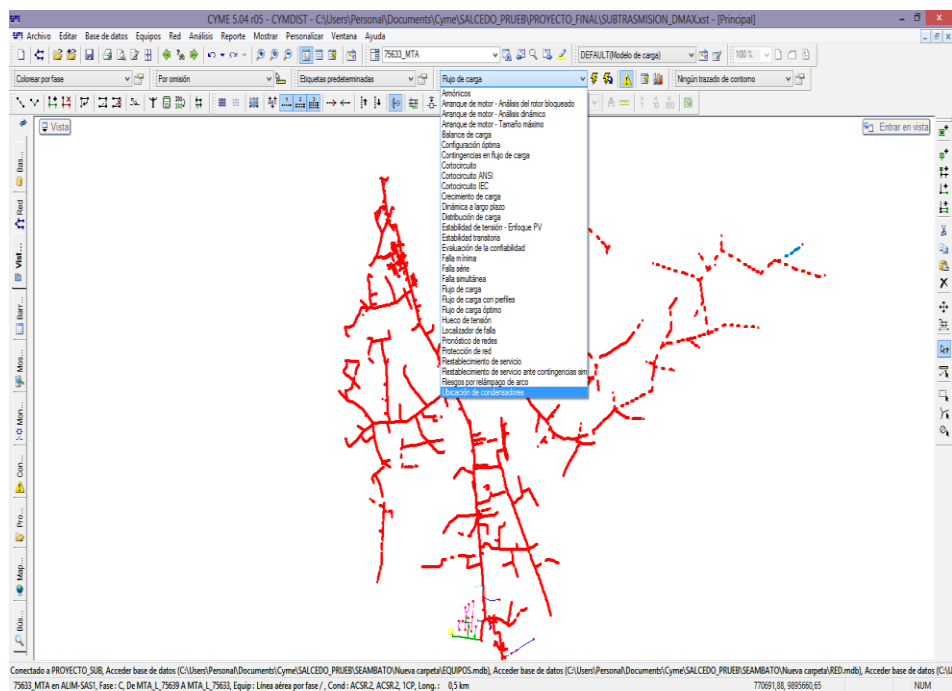


Figura 101. Ubicación óptima de capacitores en el alimentador 1

5. Escoger la ubicación donde se utilizará el módulo de capacitores, además seleccionar el objetivo final al que se quiere llegar en este caso el aumento máximo del voltaje.

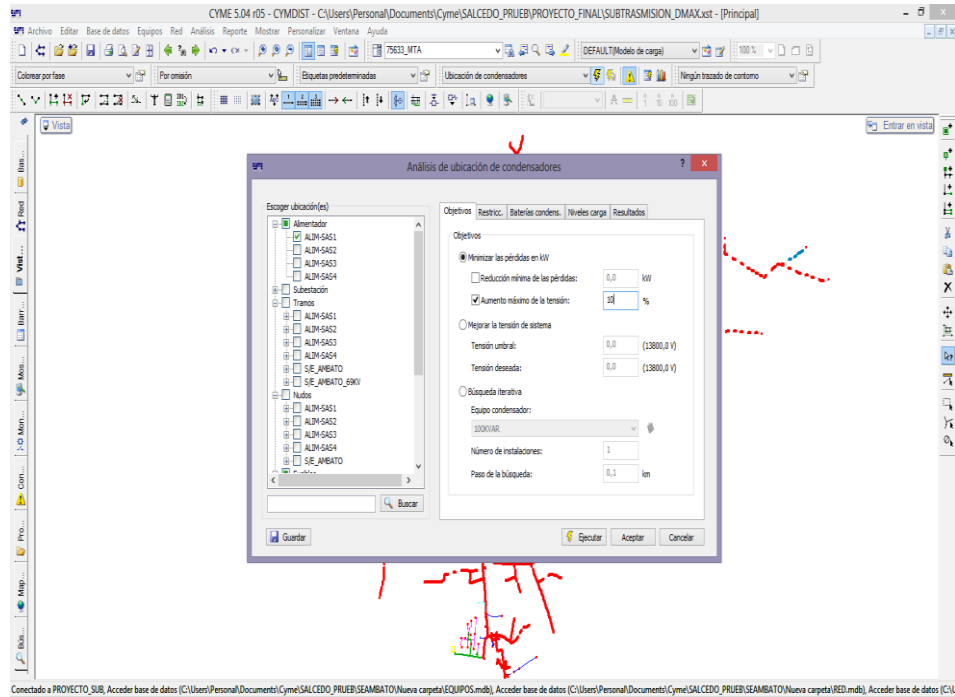


Figura 102. Aumento máximo de voltaje en el alimentador 1

6. Ingresar el factor de potencia máximo para el sistema eléctrico.

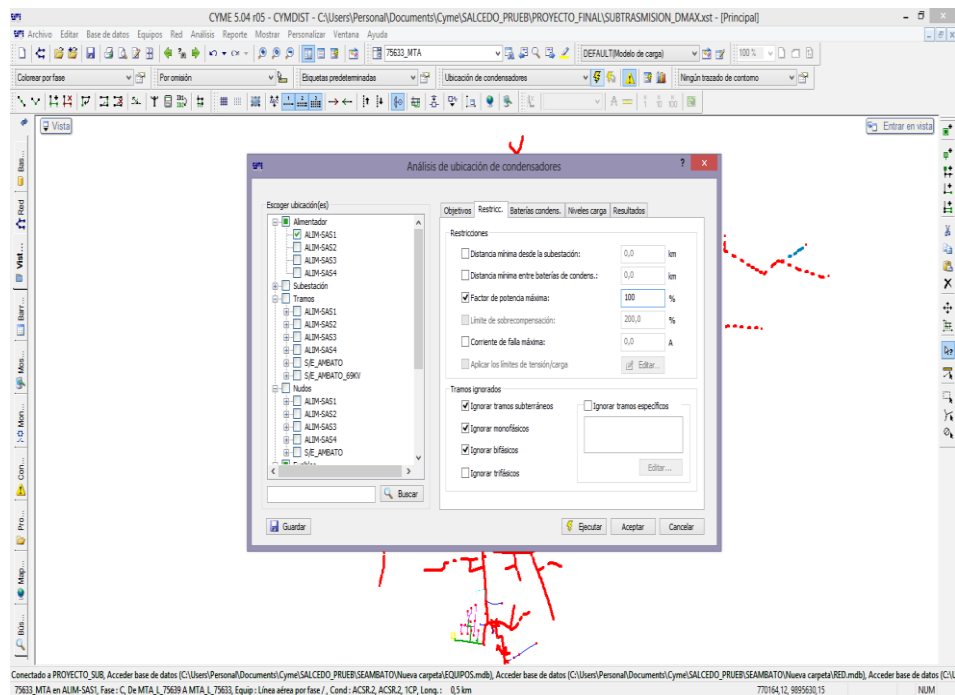


Figura 103. Factor de potencia máximo - alimentador 1

7. Seleccionar el tamaño mínimo y máximo que tendrá el banco de capacitores:

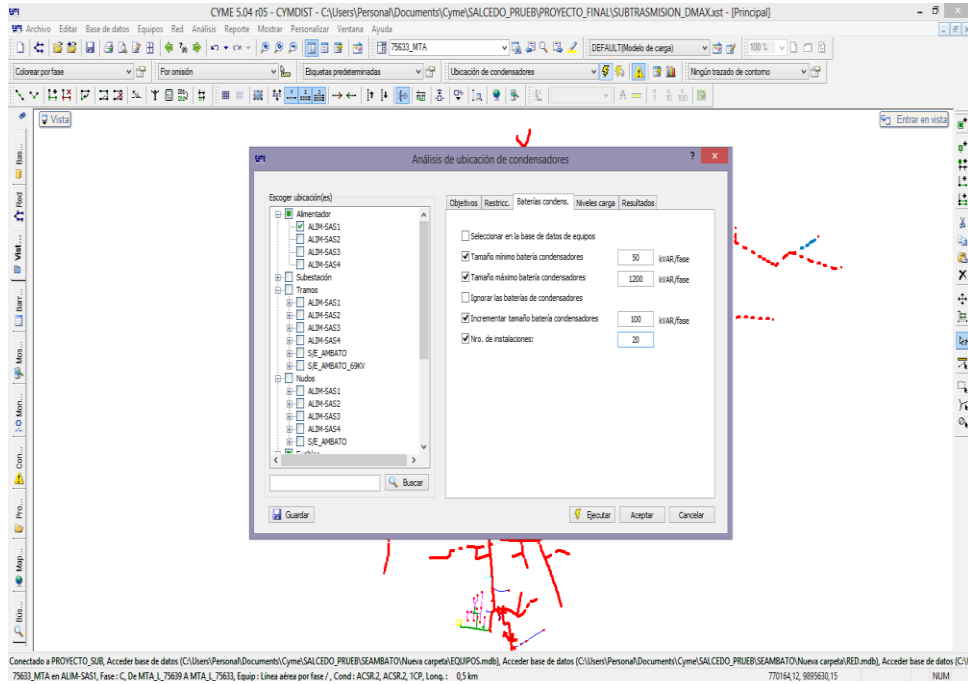


Figura 104. Selección del tamaño de capacitores en el alimentador 1

8. Elegir los niveles de carga en los que se debería aplicar los capacitores, el programa evaluará el alimentador 1 en condiciones de carga pico, normal y ligera, se considerará que va a trabajar al 120% en demanda máxima o carga pico, es cuando los capacitores realizan mayor compensación de reactivos.

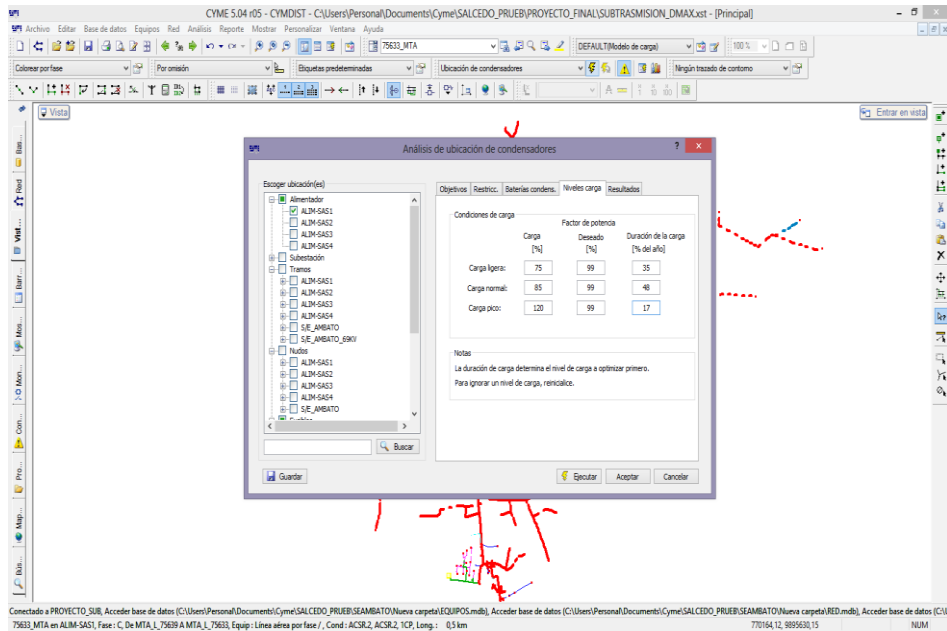


Figura 105. Modelamiento de capacitores en el alimentador 1

9. Una vez ejecutado este módulo se tiene varios resultados que muestra CYMDIST, en el que se visualiza las pérdidas que reduce y el factor de potencia que se puede tener si se incorpora el banco de capacitores recomendado.

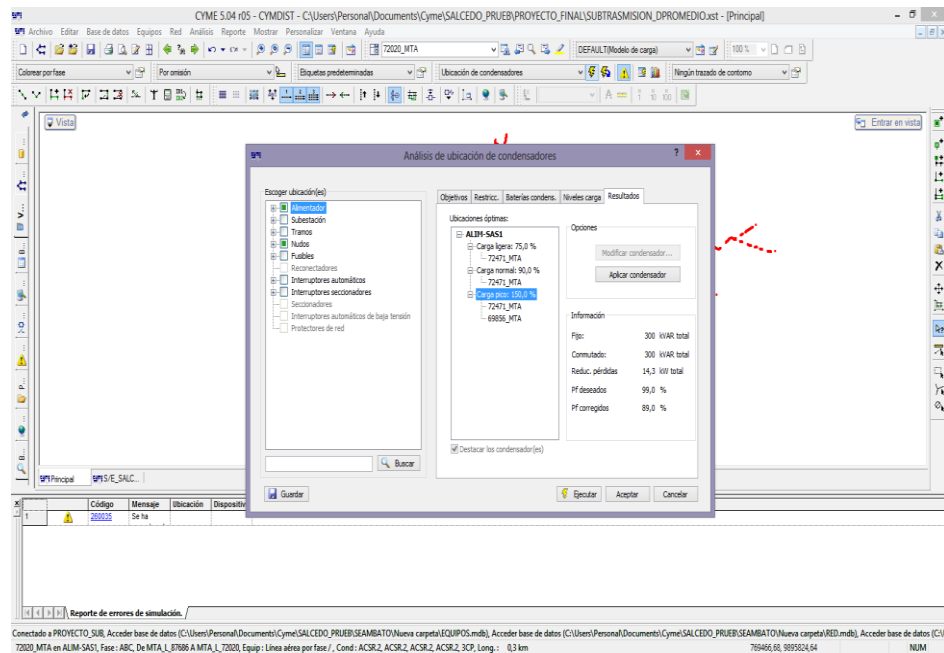


Figura 106. Reducción máxima de pérdidas en el alimentador 1

10. Al seleccionar APLICAR CONDENSADOR, se mostrará los lugares donde fueron aplicados los condensadores, para después correr el flujo de potencia y visualizar los cambios. En el que indica que en el tramo No. 69856_MTA, ubicado en la entrada a fábrica de lácteos “El Ranchito”, debe ser colocado un banco de capacitores de 300KVAR Conmutado y en el tramo 72471_MTA, ubicado en la entrada a la Parroquia Belisario Quevedo, debe ser colocado un banco de capacitores de 300KVAR fijo.

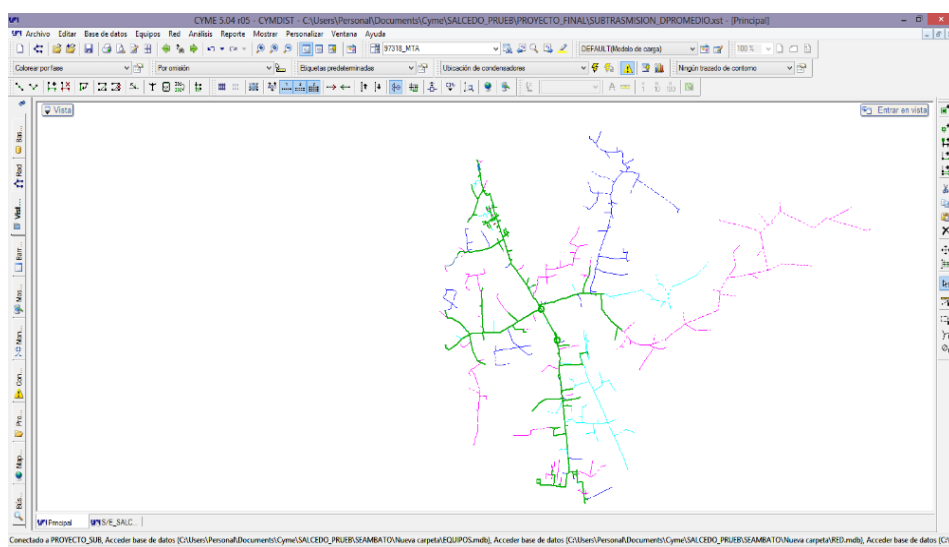


Figura 107. Ubicación de condensadores en el alimentador 1

11. A continuación, se muestra los resultados obtenidos con la implementación de los bancos de capacitores y se comprobará los resultados obtenidos en el perfil de voltaje y el factor de potencia.

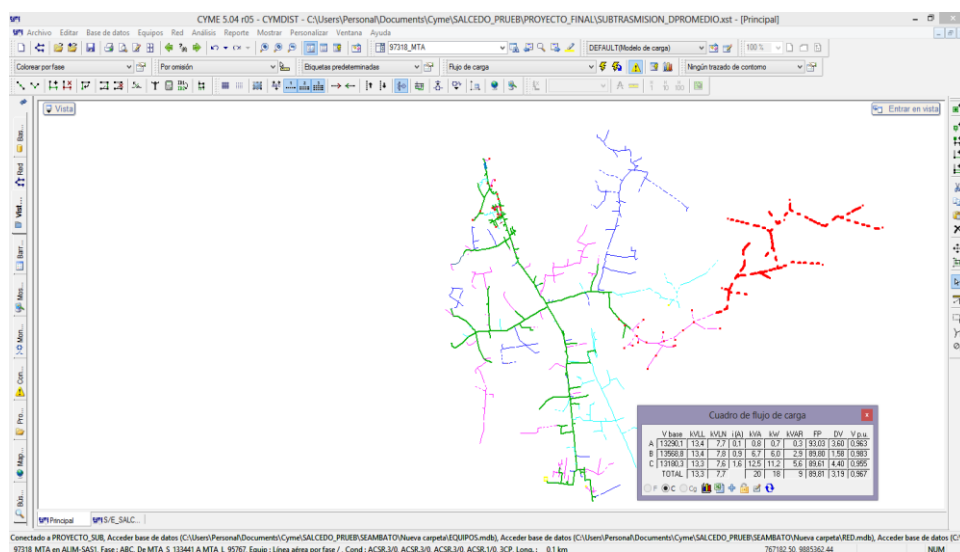


Figura 108. Resultados obtenidos en el alimentador 1

12. Obsérvese que el perfil de voltaje se incrementó.

Tabla 73
Perfil de voltaje en el alimentador 1

Ubicación	Tramo	Condición	%AV	KV	FP
Final Alimentador 1	97318_MTA	Sin Capacitor	10,10	12,40	0,89
Final Alimentador 1	97318_MTA	Con Capacitor	6,25	13,00	0,937

13. El factor de potencia mejoró con la instalación de los capacitores.

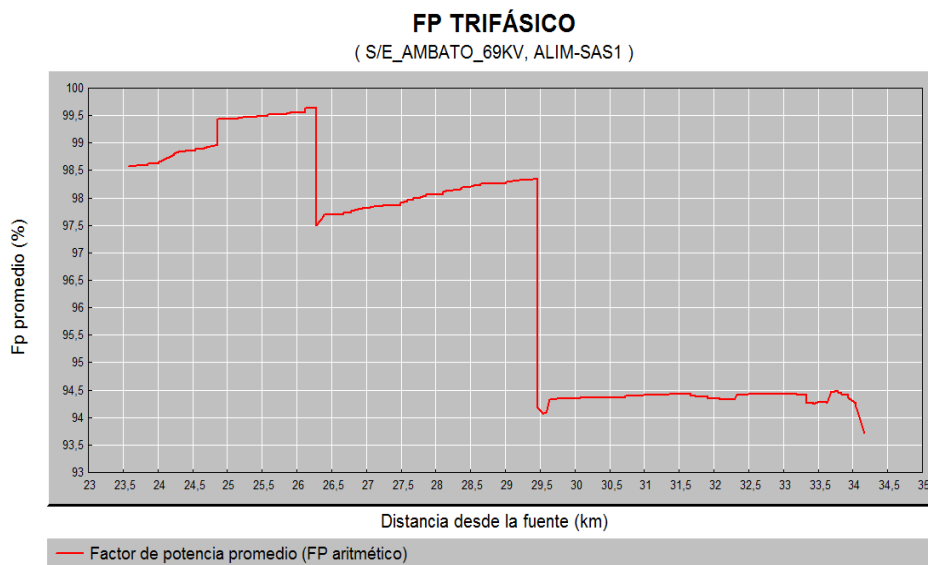


Figura 109. Factor de potencia en el alimentador 1

Desbalance de cargas

Debido a que el sistema eléctrico del alimentador 1 está desbalanceado (figura 110) CYMDIST permite utilizar la librería de balance de carga y equilibrar las cargas para poder mejorar los perfiles de voltaje, es por eso que se obtuvo los siguientes resultados utilizando esta librería.

Una vez ejecutado el módulo de balance de cargas CYMDIST muestra con recuadros de diferente color donde se realizaron las reconfiguraciones de la red para balancear la red.

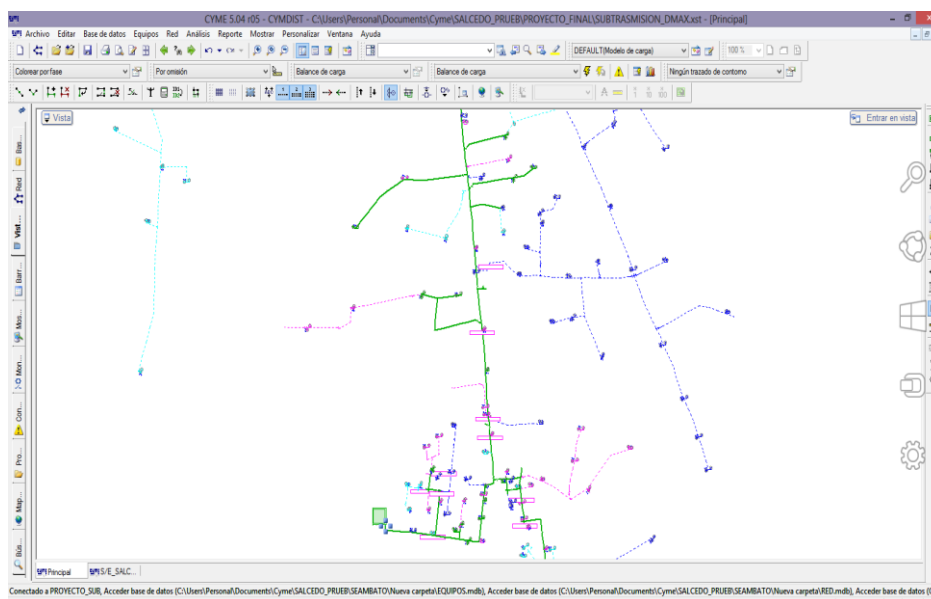


Figura 110. Balance de carga en el Alimentador 1

En la Tabla 74 se muestra los cambios sugeridos para equilibrar el sistema eléctrico del alimentador 1. Finalmente se realiza un flujo de carga para obtener los resultados de equilibrio de carga.

Tabla 74
Cargas transferidas en el alimentador 1

Carga Transferida				
Tramo	De fase	A fase	kW	kVA
72387	B	C	8,8	9,3
79890	C	A	28,3	29,8
79895	C	B	28,3	29,8
72473	C	A	8,8	9,3
72459	C	A	17,6	18,6
11077	A	B	13,2	14
8971	C	B	17,6	18,6
47681	C	A	173,6	19,4
97342	A	B	52,8	55,9
79878	A	C	10,6	11,2
87697	C	A	17,7	18,7
72033	B	A	13,2	14
72155	B	A	8,8	9,3
72458	A	B	81,9	86,7
79794	B	A	8,8	9,3

CONTINÚA →

72480	C	B	8,8	9,3
72404	B	A	8,8	9,3
72044	B	A	8,8	9,3
72475	B	A	7,1	7,5
72478	C	A	8,8	9,3
69795	A	C	8,8	9,3
69883	A	B	18,5	19,6
69842	A	B	13,2	14
87373	A	C	10,6	11,2
41299	A	B	8,8	9,3
41309	A	C	17,6	18,6
TOTAL:			609,8	480,6

Se ha transferido un total de 609.80 kW y 480.6 KVA para poder equilibrar las cargas, esta transferencia ayudara a mejorar el perfil de voltaje (figura 111), las corrientes y los KVA del alimentador no difieren más del 10% de desequilibrio.

	Vbase	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13440,5	13,4	7,8	147,3	1145,2	1059,9	433,6	92,55	2,61	0,974
B	13449,8	13,4	7,8	149,1	1159,7	1087,2	403,6	93,75	2,54	0,975
C	13447,9	13,4	7,8	149,7	1163,9	1091,8	403,3	93,81	2,55	0,974
TOTAL		13,4	7,8		3468	3239	1240	93,37	2,56	0,974

Figura 111. Balance de corriente y potencia en el alimentador 1

Esta acción también permite mejorar las condiciones de voltaje en la Tabla 69 se indica los resultados obtenidos con el flujo de potencia.

Tabla 75
Condiciones de voltaje en el alimentador 1

Ubicación	Tramo	Condición	%ΔV	KV
Final Alimentador 1	97318_MTA	Sin Balance	10,10	12,40
		Balanceado	8,10	12,70

Con la nueva configuración se puede mejorar el perfil de voltaje en un 2% y poder cumplir con la normativa del ARCONEL y ANSI C84.1 menos del 10%.

5.6.2 Condiciones de operación - Alimentador 2

Demanda Máxima

En el alimentador 2 se presenta las diversas condiciones de operación:

Tabla 76
Características de operación del alimentador 2

CASO	Alimentador 2		%ΔV	CUMPLE	
				SI	NO
DEMANDA MAXIMA	Voltaje (kV)	13,00	5,47	X	
	Factor de Potencia	0,98		X	
DEMANDA MINIMA	Voltaje (kV)	13,50	2,20	X	
	Factor de Potencia	0,92		X	
DEMANDA MEDIA	Voltaje (kV)	13,20	4,03	X	
	Factor de Potencia	0,99		X	

No se requiere tomar acciones correctivas, las condiciones de operación cumplen con lo establecido en la normativa CONELEC 004/01 Y ANSI C84.1.

5.6.3 Condiciones de operación - Alimentador 3

Demanda Máxima

En el alimentador 3 se presenta diversas condiciones de operación y según la cual se tomarán acciones correctivas.

Tabla 77
Características de operación del alimentador 3

CASO	Alimentador 3	Δ	%ΔV	CUMPLE	
				SI	NO
DEMANDA MAXIMA	Voltaje (kV)	12,50	9,23		X
	Factor de Potencia	0,98		X	
DEMANDA MINIMA	Voltaje (kV)	13,20	4,38	X	
	Factor de Potencia	0,95		X	
DEMANDA MEDIA	Voltaje (kV)	13,20	4,03	X	
	Factor de Potencia	0,99		X	

Los problemas que presenta el alimentador 3 es el bajo nivel de voltaje en el recorrido del alimentador trifásico, el factor de potencia no presenta condiciones críticas.

5.6.4 Condiciones de operación - Alimentador 4

Demanda Máxima

En el alimentador 2 se presenta diversas condiciones de operación y según la cual se tomarán acciones correctivas.

Tabla 78
Características de operación del alimentador 4

CASO	Alimentador 4	Δ	% ΔV	CUMPLE	
				SI	NO
DEMANDA MAXIMA	Voltaje (kV)	12,00	12,75		X
	Factor de Potencia	0,99		X	
DEMANDA MINIMA	Voltaje (kV)	13,40	3,03	X	
	Factor de Potencia	0,99		X	
DEMANDA MEDIA	Voltaje (kV)	12,90	6,08	X	
	Factor de Potencia	0,99		X	

Los problemas que presenta el alimentador 4 es el bajo perfil de voltaje en el recorrido del alimentador trifásico, el factor de potencia no se es afectado. Para dar solución a los problemas de bajo perfil de voltaje se considerará la creación de nuevos centros de abastecimiento o subestaciones, en este caso se utilizará la subestación Yambo.

5.6.5 Subestación Yambo

Actualmente ELEPCO S.A., tomó acciones frente a una posible erupción del Volcán Cotopaxi, en coordinación conjunta con la Empresa Eléctrica Ambato y la Empresa Eléctrica Quito implementaron una nueva subestación en la Parroquia Santa Lucia a la que se denominó “YAMBO”, con una capacidad instalada de 2.5MW, un nivel de voltaje de 69kV/13.8kV.

El objetivo de esta propuesta es mejorar las condiciones de voltaje de los alimentadores 3 Salcedo Sur y el alimentador 4 Salcedo Occidental, como tienen un

seccionamiento abierto que fue construido para transferencias de carga se lo utilizará para el diseño de esta propuesta.

Se transferirá un total de carga de 2MW a la nueva subestación Yambo, en base a la demanda máxima y media de los alimentadores se determinó el factor de demanda, e indicar qué operación se debe hacer y que seccionadores se deben abrir o cerrar. Se optará por la realización de dos pruebas que son las siguientes:

- Transferir 1MW a la subestación Yambo
- Transferir 2MW a la subestación Yambo

Sabiendo que el objetivo de esta propuesta aparte de mejorar los niveles de voltaje, es cubrir la mayor parte del alimentador 4 debido a que está en una zona de riesgo ante una eventual erupción del Volcán Cotopaxi.

Factor de demanda alimentador 3

$$F_{Demanda} = \frac{\bar{D}_{maxima}}{C_{instalada} * fp}$$

$$F_{Demanda} = \frac{4065.28 \text{ kW}}{14020 \text{ KVA} * 0,98}$$

$$F_{Demanda} = 0,29$$

Se determina la demanda máxima nueva que tendrá el alimentador 3 sin las cargas transferidas a la subestación Yambo:

$$\bar{D}_{maxima} = F_{Demanda} * C_{instalada} * fp$$

$$\bar{D}_{maxima} = 0,29 * (8299 + 1882,5) \text{ KVA} * 0,97$$

$$\bar{D}_{maxima} = 2864,056 \text{ kW}$$

Factor de demanda alimentador 4

$$F_{Demanda} = \frac{\bar{D}_{maxima}}{C_{instalada} * fp}$$

$$F_{Demanda} = \frac{1721,34 \text{ kW}}{3847 \text{ KVA} * 0,99}$$

$$F_{Demanda} = 0,45$$

Se determina la demanda máxima que tendrá ahora el alimentador 4 sin las cargas transferidas a la subestación Yambo:

$$\bar{D}_{maxima} = F_{Demanda} * C_{instalada} * fp$$

$$\bar{D}_{maxima} = 0,45 * 2395 \text{ KVA} * 0,99$$

$$\bar{D}_{maxima} = 1066,973 \text{ kW}$$

En el **ANEXO U**, se identifica las zonas delimitadas por seccionadores en todo el recorrido de los alimentadores trifásicos en las que se realizó la sumatoria de cargas y se identificó hasta donde se desea transferir carga para la nueva subestación Yambo. Para el factor de demanda de la subestación Yambo se tomó las siguientes acciones con los factores de demanda encontrados se encontró un nuevo factor de demanda:

$$F_{DEMANDA YAMBO} = \frac{F_{DemandaAlimentador 3} + F_{DemandaAlimentador 4}}{2}$$

$$F_{DEMANDA YAMBO} = \frac{0,29 + 0,45}{2}$$

$$F_{DEMANDA YAMBO} = 0,37$$

Con este nuevo factor de demanda para la subestación Yambo se determinará las demandas máximas a las que va a operar los alimentadores 3 y 4 sin la carga que será transferida, realizar los flujos de potencia y ver las condiciones de operación del nuevo sistema, tomando en consideración un factor de potencia de 0,99.

a. Transferencia de 1MW

Las zonas P1, P2, P3 y C1 identificadas en el **ANEXO U**, del diagrama de distribución serán trasladadas, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 79
Transferencia de carga de 1MW

Ubicación	POT. Instalada	POT. CARGA
P1	350	129,94
P2	317,5	117,87
P3	1495	555,01
C1	610	226,46
	Total kW:	1029,29

Como resultado se obtiene que la transferencia total de estas zonas es de 1.029MW para lo cual se debe realizar las siguientes acciones:

Tabla 80
Acciones en los elementos de control

Poste No.	Elemento de control	No.	Condición	Estado Actual	Cambio
66605	Seccionador Tirafusible	3339	Existente	Cerrado	Abrir
110373	Seccionador Tirafusible	33385	Existente	Cerrado	Cerrar
65709	Seccionador Tirafusible	3316	Existente	Cerrado	Cerrar
S/n	Seccionador Tirafusible	S/n	Proyectado	Abierto	Abrir
153800	Seccionador Tirafusible	33052	Existente	Abierto	Cerrar

En el tramo 45198_MTA, se debe hacer un corte de red en el circuito trifásico para instalar un seccionador por fase para poder tomar 1MW de la carga que se conectará a la subestación Yambo.

Indicar que los circuitos en los extremos de la subestación deberán ser reforzados a conductor 3/0AWG en fases y 1/0 en el neutro, para los resultados se tomó los datos en el final del recorrido trifásico del alimentador 4 y en el final del ramal 1 del alimentador 3. Al seccionar la carga el área de servicio se incrementa en el alimentador 3 por lo que se toma mayor carga, en el alimentador 4 se reduce tomando menor carga.

Tabla 81
Evaluación de resultados en el alimentador 3

CASO	Alimentador 3	KV	%ΔV	CUMPLE	
				SI	NO
Demanda Máxima	Voltaje (kV)	13.1	5,06	X	
	Factor de Potencia	0,95		X	

Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 82
Regulación de voltaje en el ramal 1 de la S/E YAMBO

Ubicación	Tramo	Condición	% ΔV	KV	FP
Final Alimentador 3	45198_MTA	SIN S/E YAMBO	9,23	12,5	0,98
		CON S/E YAMBO	5,06	13,10	0,96

La S/E YAMBO mejora las condiciones de voltaje y pérdidas en el ramal 1 del Alimentador 3, cumpliendo con la normativa CONELEC 004/01 y ANSI C84.1 pues la regulación de voltaje está por debajo del 8% y sobre el 0,92 para el factor de potencia.

Transferencia al alimentador 4:

Tabla 83
Evaluación de resultados en el alimentador 4

CASO	Alimentador 4	KV	% ΔV	CUMPLE	
				SI	NO
Demanda Máxima	Voltaje (kV)	11,80	14,21		X
	Factor de Potencia	0,99		X	

Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 84
Regulación de voltaje en el alimentador 4 de la S/E YAMBO

Ubicación	Tramo	Condición	% ΔV	KV	FP
Final Alimentador 4	65083_MTA	SIN S/E YAMBO	12,75	12,	0,99
		CON S/E YAMBO	14,21	11,80	0,98

La S/E YAMBO no mejora las condiciones de voltaje en el alimentador 4, incrementando su área de cobertura, el factor de potencia no sufre afectación, incumpliendo con la normativa CONELEC 004/01 y ANSI C84.1 pues la regulación de voltaje está por debajo del 8% y sobre el 0,92 para factor de potencia.

b. Transferencia de 2MW

Las zonas P1, P2, P3, P9, P10, P11 Y P12 identificadas en el **ANEXO U**, del diagrama de distribución serán trasladadas, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 85
Transferencia de carga de 2MW

Ubicación	POT. Instalada	POT. CARGA
P1	350	129,94
P2	317,5	117,87
P3	1495	555,02
P9	200	74,250
P10	810	300,713
P11	475	176,344
P12	1676	622,215
	Total MW:	1976,35

Como resultado se obtiene que la transferencia total de estas zonas es de 1979.35MW para lo cual se debe realizar las siguientes acciones:

Tabla 86
Acciones de los elementos de control

Poste No.	Elemento de control	No.	Condición	Estado Actual	Cambio
110373	Seccionador Tirafusible	33385	Existente	Cerrado	Cerrar
65709	Seccionador Tirafusible	3316	Existente	Cerrado	Abrir
66605	Seccionador Tirafusible	3339	Existente	Cerrado	Cerrar
153800	Seccionador Tirafusible	33052	Existente	Abierto	Cerrar
154365	Seccionador Tirafusible	3435	Existente	Cerrado	Cerrar
68835	Seccionador Tirafusible	3425	Existente	Cerrado	Cerrar
120598	Seccionador Tirafusible	3416	Existente	Cerrado	Abrir

En el tramo 78043_MTA abrir los seccionamientos No. 3416 y el No. 3316, se tomará 2MW de la carga que se conectará a la subestación Yambo, además indicar que los circuitos en los extremos de la subestación deberán ser reforzados a conductor 3/0AWG en fases y 1/0 en el neutro, para los resultados se tomó los datos en el final del recorrido trifásico del alimentador 4 y en el final del ramal 1 del alimentador 3.

Tabla 87
Evaluación de resultados en el alimentador 3

CASO	Alimentador 3	KV	%ΔV	CUMPLE	
				SI	NO
Demanda Máxima	Voltaje (kV)	13,30	3,86	X	
	Factor de Potencia	0,99		X	

Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 88
Regulación de voltaje en el ramal 1 de la S/E YAMBO

Ubicación	Tramo	Condición	%ΔV	KV	FP
Final Alimentador 3	45198_MTA	SIN S/E YAMBO	9,23	12,5	0,98
		CON S/E YAMBO	3,86	13,30	0,99

La S/E YAMBO mejora las condiciones de voltaje y pérdidas en el ramal 1 del Alimentador 3, cumpliendo con la normativa CONELEC 004/01 y ANSI C84.1 pues la regulación de voltaje está por debajo del 8% y sobre el 0,92 para factor de potencia.

Transferencia al alimentador 4:

Tabla 89
Evaluación de resultados en el alimentador 4

CASO	Alimentador 4	KV	%ΔV	CUMPLE	
				SI	NO
Demanda Máxima	Voltaje (kV)	13,30	2,60	X	
	Factor de Potencia	0,98		X	

Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 90
Regulación de voltaje en el alimentador 4 de la S/E YAMBO

Ubicación	Tramo	Condición	%ΔV	KV	FP
Final Alimentador 4	65083_MTA	SIN S/E YAMBO	12,75	12,00	0,99
		CON S/E YAMBO	2,60	13,30	0,98

La S/E YAMBO mejora las condiciones de voltaje en el alimentador 4, incrementando su área de cobertura, el factor de potencia no sufre afectación, cumpliendo con la normativa CONELEC 004/01 y ANSI C84.1 pues la regulación de voltaje está por debajo del 8% y sobre el 0,92 para factor de potencia.

Se debería poner en funcionamiento la subestación Yambo antes que se presente la condición de emergencia para lo cual fue construida, debido a que los niveles de voltaje mejoran considerablemente y el factor de potencia al igual que sin la transferencia de carga no es afectado, los beneficios contribuyen con el objetivo de este estudio mejorando la calidad de energía.

5.7. Sistema Salcedo

Del diagnóstico realizado en el capítulo anterior, el factor de potencia en el sistema Salcedo, no cumple con las condiciones a demandas mínima, media y máxima por lo que se tomaran acciones correctivas para mejorarlo, para cumplir con este objetivo se evaluarán los siguientes resultados instalando capacitores en:

- La barra de salida de la planta industrial de la fábrica HOLCIM.
- En el alimentador 1 de la subestación Salcedo.
- En los dos lugares Holcim y el alimentador 1.

5.7.1. ESCENARIO 1: Planta industrial de la fábrica HOLCIM

En la actualidad la planta fábrica Holcim, opera en condiciones no permitidas donde el factor de potencia está fuera de la norma, debido a que es una empresa privada dedicada a la elaboración de productos para la construcción, no se tiene un diagrama topológico del recorrido y ubicación de transformadores a nivel de 4.16 kV, no se puede utilizar el módulo de CYMDIST de Ubicación Óptima de Capacitores, por lo que la implementación de capacitores se la realizará en la barra del secundario del transformador de 9.3 MVA.

Al realizar las pruebas se seleccionó el de 300kVAR monofásico, con este capacitor mejora el factor de potencia en la subestación de la planta industrial de la fábrica HOLCIM (figura 112).

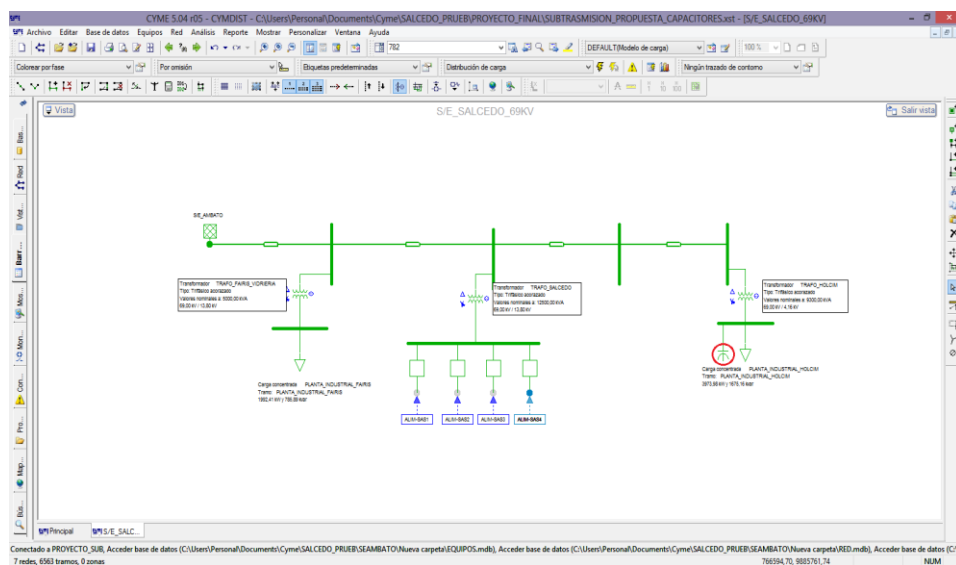


Figura 112. Instalación de capacitores en la subestación Holcim

Tabla 91
Evaluación de resultados en la subestación Holcim

Ubicación	Lugar	Condición	% ΔV	KV	FP
Subestación Holcim	Barra de Salida	Sin Capacitor	5,42	3,90	0,9215
		Con Capacitor	4,10	4,10	0,977

Resultados obtenidos al implementar capacitores en la subestación de la planta industrial de la fábrica HOLCIM.

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13222,0	4,0	2,3	588,6	1354,6	1324,7	283,0	97,79	4,19	0,958
B	13191,5	4,0	2,3	590,1	1354,8	1324,7	284,3	97,77	4,41	0,956
C	13189,0	4,0	2,3	590,2	1354,8	1324,7	284,4	97,77	4,43	0,956
TOTAL		4,0	2,3		4064	3974	852	97,78	4,34	0,957

Figura 113. Resultados en la subestación Holcim

Tabla 92
Evaluación de resultados en la subestación Ambato - Holcim

Ubicación	Condición	% ΔV	KV	FP
Subestación Ambato	Sin Capacitor	00,00	69,00	0,932
	Con Capacitor	00,00	69,00	0,947

Con los resultados obtenidos de la subestación Ambato hasta la subestación de la planta industrial de la fábrica HOLCIM al implementar capacitores se observa los datos en la tabla 92.

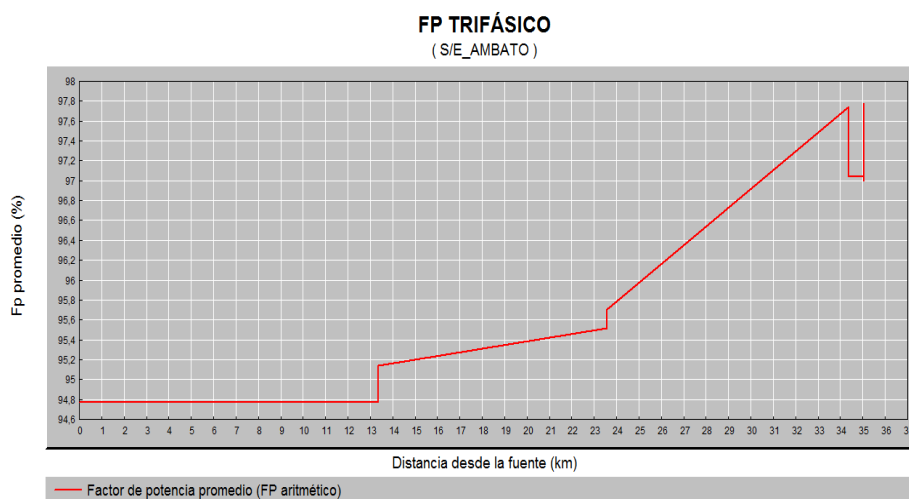
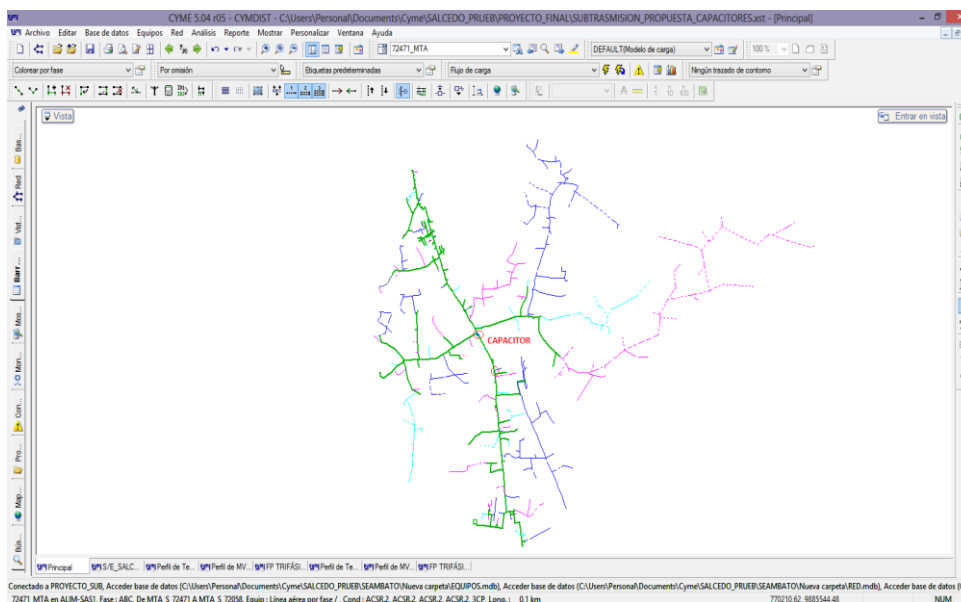


Figura 114. Factor de potencia en la subestación Ambato

5.7.2. ESCENARIO 2: Alimentador 1 de la subestación Salcedo

Para corregir el factor de potencia y los niveles de voltaje en la troncal trifásica se utilizó el módulo de CYMSDIT: Ubicación Óptima de Capacitores descrito en el literal



Resultados obtenidos al implementar capacitores en la subestación Ambato, obsérvese que el perfil de voltaje se incrementó.

Tabla 93
Perfil de voltaje en el alimentador 1

Ubicación	Tramo	Condición	% ΔV	KV	FP
Final Alimentador 1	97318_MTA	Sin Capacitor	11,17	12,30	0,945
		Con Capacitor	6,25	13,00	0,937

El factor de potencia mejoró con la instalación de los capacitores.

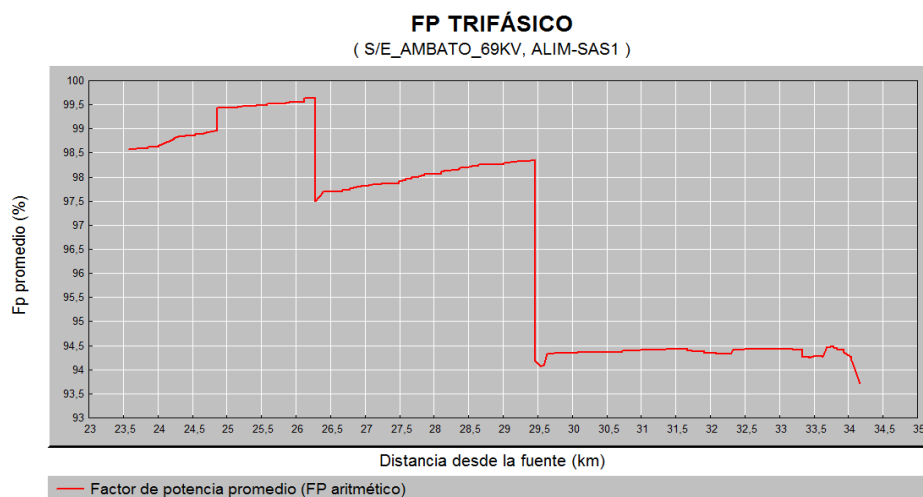


Figura 116. Factor de potencia en el alimentador 1

Tabla 94
Evaluación de resultados en la subestación Ambato - Salcedo

Ubicación	Condición	% ΔV	KV	FP
Subestación Ambato	Sin Capacitor	00,00	69,00	0,932
	Con Capacitor	00,00	69,00	0,954

Resultados obtenidos desde la subestación Ambato en el sistema Salcedo hasta la subestación de la planta industrial de la fábrica HOLCIM al implementar capacitores.

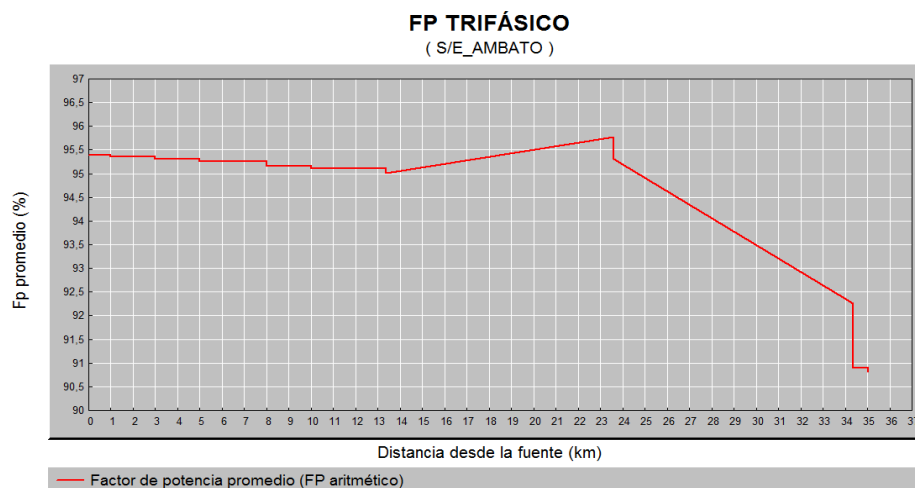


Figura 117. Factor de potencia en el sistema Salcedo

Como se puede visualizar al implementar capacitores en el Alimentador 1 se mejora el factor de potencia desde el sistema Salcedo hasta la subestación Salcedo, pero hasta la subestación Holcim el factor de potencia disminuye considerablemente.

5.7.3. ESCENARIO 3: Planta industrial de fábrica HOLCIM y alimentador 1.

Para esta condición se instalará capacitores en la subestación de la planta industrial de la fábrica HOLCIM y el Alimentador 1 de la subestación Salcedo para evaluar los resultados obtenidos en sistema Salcedo.

Tabla 95
Evaluación de resultados en la subestación Holcim

Ubicación	Lugar	Condición	%ΔV	KV	FP
Subestación Holcim	Barra de Salida	Sin Capacitor	5,42	3,90	0,9215
		Con Capacitor	4,10	4,10	0,978

Resultados obtenidos al implementar capacitores en la subestación de la planta industrial de la fábrica HOLCIM.

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13301,0	4,0069	2,3	584,8	1353,9	1324,7	279,7	97,84	3,62	0,964
B	13272,8	3,9983	2,3	586,2	1354,1	1324,7	280,9	97,82	3,82	0,962
C	13272,5	4,0064	2,3	586,2	1354,1	1324,7	280,9	97,82	3,82	0,962
TOTAL		4,0039	2,3		4062	3974	842	97,8303	3,75	0,962

Figura 118. Resultados en la subestación Holcim

Tabla 96
Perfil de voltaje en el alimentador 1

Ubicación	Tramo	Condición	%ΔV	KV	FP
Final Alimentador 1	97318_MTA	Sin Capacitor	11,17	12,30	0,945
	97318_MTA	Con Capacitor	5,00	13,10	0,960

Tabla 97
Evaluación de resultados en la subestación Ambato - Salcedo

Ubicación	Condición	%ΔV	KV	FP
Subestación Ambato	Sin Capacitor	00,00	69,00	0,932
	Con Capacitor	00,00	69,00	0,985

Resultados obtenidos desde la subestación Ambato en el sistema Salcedo hasta la subestación de la planta industrial de la fábrica HOLCIM al implementar capacitores.

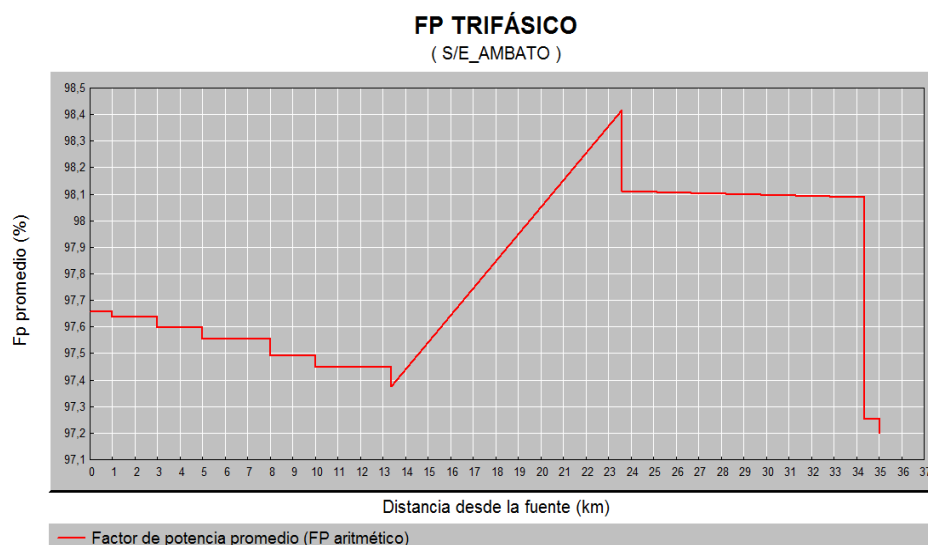


Figura 119. Factor de potencia en el sistema Salcedo

5.7.4. Evaluación de resultados en el punto frontera Ambato

Al instalar los capacitores tomando en cuenta los escenarios evaluados, se presentaron los siguientes resultados:

Tabla 98
Evaluación de los escenarios propuestos

	Ubicación	% ΔV	KV	FP
Escenario 1	S/E Holcim	4,10	4,10	0,977
	S/E Ambato	00,00	69,00	0,947
Escenario 2	Alimentador 1	6,25	13,00	0,937
	S/E Ambato	00,00	69,00	0,954
Escenario 3	S/E Holcim	4,10	4,10	0,978
	Alimentador 1	5,00	13,10	0,960
	S/E Ambato	00,00	69,00	0,985

De las tres opciones evaluadas se determina que el escenario 3 brinda mejores condiciones. El implementar capacitores en la subestación de la planta industrial de la fábrica HOLCIM y el Alimentador 1 ayuda para que mejoren sus niveles de voltaje, sobre todo contribuyan a elevar el factor de potencia en el sistema Salcedo y cumplir con el objetivo de este estudio.

5.7.5. Evaluación de ESCENARIO 3 a distintas condiciones

Como ya se determinó que instalar capacitores en la subestación planta industrial de la fábrica HOLCIM y el Alimentador 1 ayuda a elevar el factor de potencia en el sistema Salcedo, entonces se evaluará considerando las condiciones:

- Demanda Mínima
- Demanda Media

a. Demanda Mínima

Con los flujos de potencia a demanda mínima se obtuvo los siguientes resultados en la subestación Ambato:

Tabla 99

Evaluación de resultados subestación Ambato - Salcedo - Holcim

Ubicación	Condición	%ΔV	KV	FP
Subestación Ambato	Sin Capacitor	00,00	69,00	0,924
	Con Capacitor	00,00	69,00	0,991

Resultados obtenidos en el sistema Salcedo, al implementar capacitores en subestación de la planta industrial de la fábrica HOLCIM y Alimentador 1, tomando en consideración que un banco de capacitores fijo ubicado en el en el tramo 72471_MTA siempre va estar actuando, el otro banco de capacitores automático actuará para mejorar los niveles de voltaje y factor de potencia en demanda máxima.

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13688,5	68,3844	39,5	19,1	754,1	746,7	104,8	99,03	0,81	0,992
B	13670,2	68,3754	39,5	19,1	752,9	745,5	105,6	99,01	0,94	0,991
C	13686,6	68,4667	39,5	19,1	753,5	746,0	105,9	99,01	0,82	0,992
TOTAL		68,4088	39,5		2260	2238	316	99,0159	0,86	0,991

Figura 120. Resultados en el sistema Salcedo

El factor de potencia mejora en condiciones de demanda mínima (figura 121):

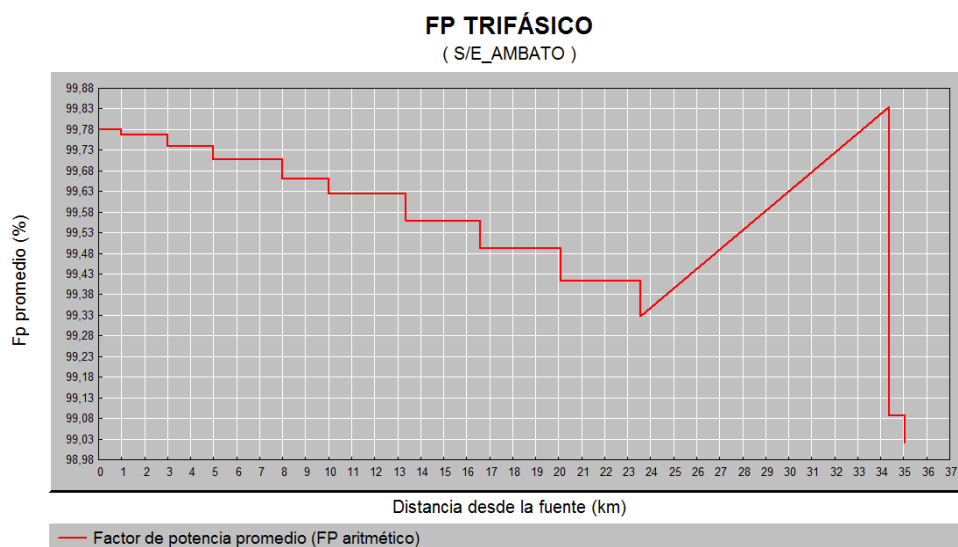


Figura 121. Factor de potencia en el sistema Salcedo

b. Demanda media

Con los flujos de potencia a demanda media se obtuvo los siguientes resultados en el sistema Salcedo:

Tabla 100
Evaluación de resultados subestación Ambato – Salcedo - Holcim

Ubicación	Condición	% Δ V	KV	FP
Subestación Ambato	Sin Capacitor	00,00	69,00	0,924
	Con Capacitor	00,00	69,00	0,992

Resultados obtenidos en el sistema Salcedo, al implementar capacitores en subestación planta industrial de la fábrica HOLCIM y Alimentador 1, tomando en consideración que un banco de capacitores fijo ubicado en el en el tramo 72471_MTA siempre va estar actuando, el otro banco de capacitores automático actuará para mejorar los niveles de voltaje y factor de potencia en demanda máxima.

Cuadro de flujo de carga

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	FP	DV	V p.u.
A	13572,5	67,7887	39,2	26,5	1036,6	1029,0	125,1	99,27	1,65	0,984
B	13550,1	67,7859	39,1	26,5	1034,6	1026,9	126,4	99,25	1,81	0,982
C	13571,9	67,8979	39,2	26,4	1035,9	1028,1	127,0	99,25	1,65	0,983
TOTAL		67,8242	39,2		3107	3084	378	99,2553	1,70	0,983

Figura 122. Resultados en el sistema Salcedo

El factor de potencia mejora en condiciones de demanda media (figura 123):

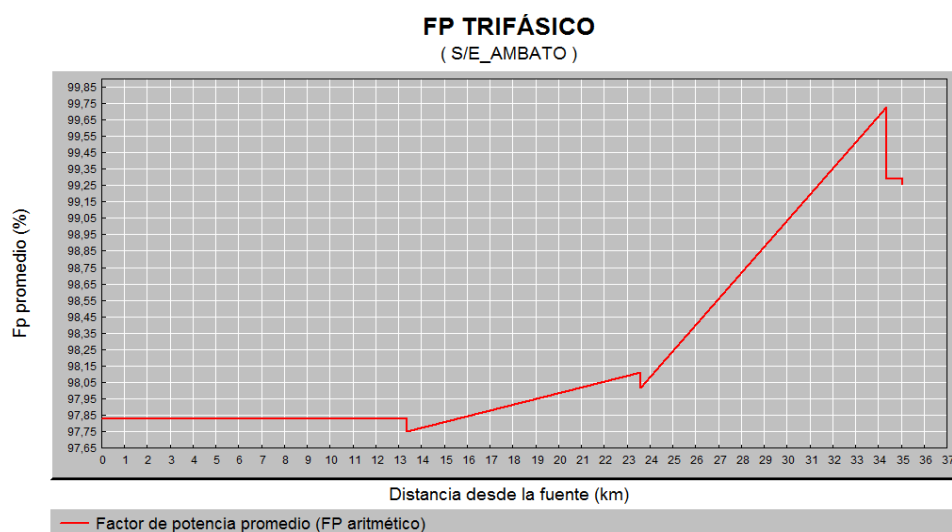


Figura 123. Factor de potencia en la subestación Ambato

5.8. Evaluación de resultados en el sistema de distribución Salcedo

Los resultados obtenidos para mejorar los niveles de voltajes y factor de potencia en el sistema de distribución Salcedo se resume a continuación:

Tabla 101
Evaluación de la propuesta

ALTERNATIVA	UBICACIÓN	% ΔV inicial	% ΔV final	%
Balance de Cargas en Alimentadores Primarios	Final Alimentador 1	11,17	9,17	2,00
Instalación de Banco de Capacitores	Final Alimentador 1	11,17	6,25	4,92
Incorporación Nueva S/E YAMBO	Final Alimentador 3	9,23	3,86	5,37
	Final Alimentador 4	12,75	2,60	10,15

De la tabla 101, se obtuvo que el balance de cargas mejora los niveles de voltaje en el alimentador 1 un 2% de la regulación, resultado evaluado al final del alimentador 1. La opción de mejoramiento más viable es la instalación de banco de capacitores en la red, debido a que mejora en un 4,92% el nivel de voltaje y el factor de potencia en condiciones de demanda media y mínima.

El costo de una nueva subestación para incorporar a la red resulta ser más costoso debido a los equipos que se requieren, pero como la subestación Yambo ya se encuentra construida, ver **ANEXO T**, se la utilizaría con un costo de operación bajo, pero para energizar el sistema se debe tomar en cuenta el reforzamiento de conductor 2AWG a 3/0AWG en los circuitos laterales de arranque.

Lo expuesto anteriormente se considera para los alimentadores 3 y 4, al liberar carga a la subestación Salcedo automáticamente sus niveles de voltaje se incrementa y el factor de potencia se mantiene en condiciones aceptables. Al realizar esto en el alimentador 3 el nivel de voltaje mejorará 5,37% en el final del tramo y en el alimentador 4 el nivel de voltaje mejorará 10,15%.

Subestación Salcedo sin capacitores.

Con la transferencia de carga realizada a la nueva subestación Yambo se comprobó que los niveles de voltaje mejoraron a un bajo costo, por lo que se hace viable la propuesta planteada.

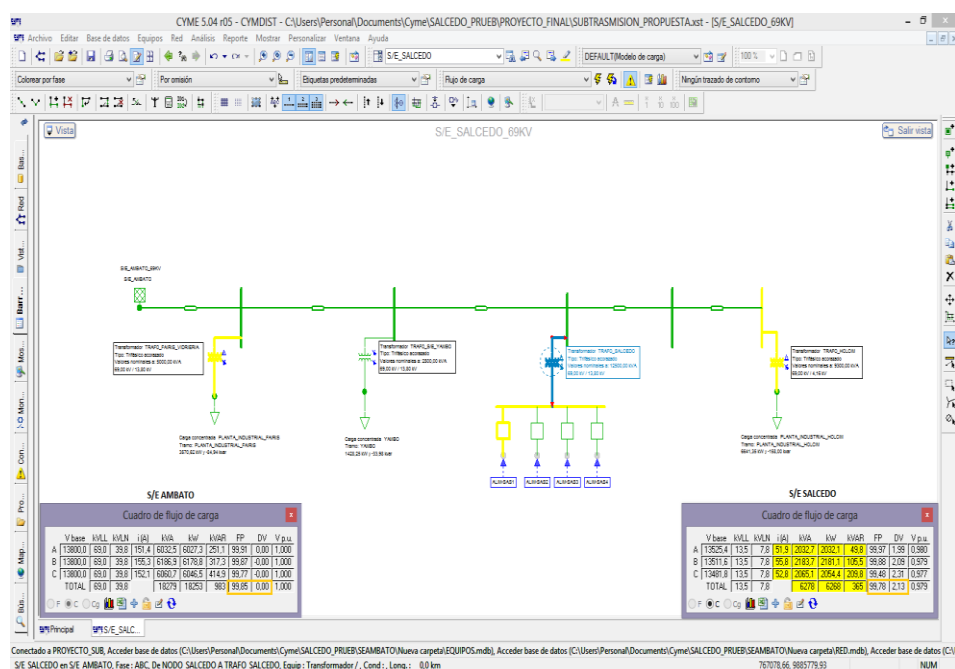


Figura 124. Condiciones a nivel de subtransmisión con la S/E YAMBO

El factor de potencia mejora con la carga transferida desde los alimentadores 3 y 4 de la subestación Salcedo a la nueva subestación YAMBO y con la ubicación óptima de capacitores en el alimentador 1 y en la planta industrial Holcim, en la figura 124 se visualiza las condiciones de operación de la S/E Yambo y la propuesta realizada en el

diagrama unifilar. Desde el punto frontera, definido en el gráfico como el inicio del recorrido, se observa que el factor de potencia cumple con condiciones óptimas.

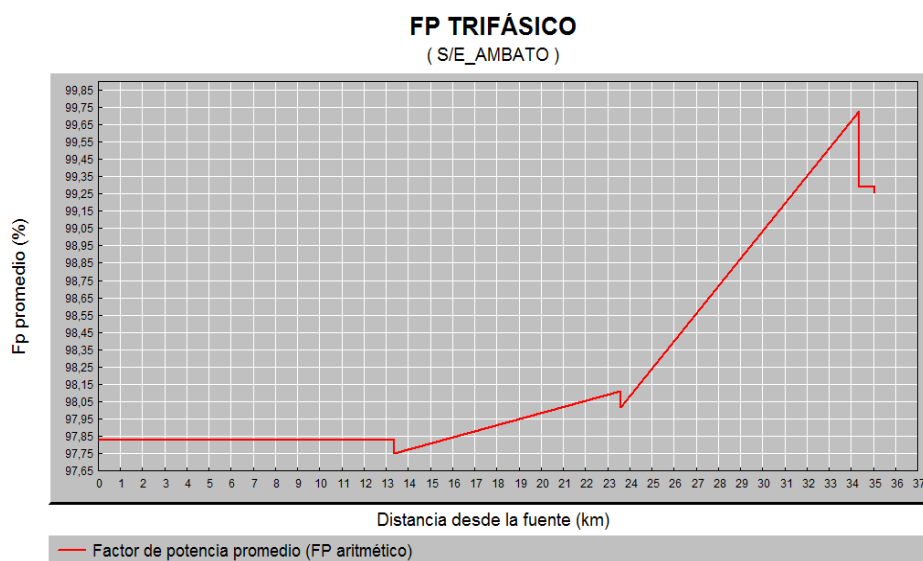


Figura 125. Factor de potencia en el sistema Salcedo

5.8.1. Evaluación Económica

Se ha tomado en cuenta costos y valores estimados que se aproximen a lo que realmente se debería invertir. Para el costo por adquisición, colocación, energización de los bancos de capacitores en el alimentador 1 y maniobras en los seccionadores del alimentador 3 y alimentador 4, se plantea que:

Tabla 102
Evaluación de la propuesta

UBICACIÓN	Alimentador 1	Alimentador 3	Alimentador 4
Equipos	Banco de capacitores	Seccionadores	Seccionadores
Horas	8	4	4
Costo equipos	\$ 1.000,00	\$ 250	\$ 250
Costo personal	\$ 600,00	\$ 80	\$ 80
Costo kWh	\$ 0,08	\$ 0,08	\$ 0,08
kWh no suministrados	2472,65	1084,52	294,06
Total montaje y operación:	\$ 1.582,50	\$ 347,05	\$ 94,10
Total:	\$ 3.182,50	\$ 677,05	\$ 424,10
Costo total:	\$ 4.283,64		

El costo para la operación y montaje de los capacitores en el alimentador 1 es de \$3.182.50, costo que resulta rentable en consideración a los niveles de voltaje que se producen actualmente en la red primaria.

En total el costo en la nueva subestación Yambo por operación y energización es de \$1.101,15 al transferir la carga de los alimentadores 3 y 4, costo que es rentable y de beneficio para el sistema eléctrico de la subestación Salcedo y el sistema Salcedo en el punto frontera.

CAPÍTULO VI

6.1 CONCLUSIONES

- Se obtuvo un inventario topológico de las redes, equipos de transformación, cables, distancias, número y consumo de clientes de energía eléctrica conectado en los alimentadores en ARCGIS y en CYMDIST que fueron necesarios para el análisis de voltaje y factor de potencia.
- Se evaluó las variables eléctricas en las salidas de los alimentadores y en cargas representativas utilizando registradores digitales instalados en las subestaciones Salcedo y Ambato.
- Se realizó un diagnóstico técnico eléctrico actual de la subestación Ambato, Salcedo y sus alimentadores obteniendo como resultado que el Alimentador 1 presenta niveles bajos de factor de potencia y nivel de voltaje en todo el recorrido de la troncal trifásica por lo que no cumple con la Normativa CONELEC 004/01 Y ANSI C84.1.
- Se modeló los alimentadores primarios de la subestación Salcedo, en el software de simulación eléctrica CYMDIST obteniendo en cada alimentador las caídas de voltajes y factor de potencia con el que está operando al año 2015.
- Se ajustó en un 20% la modelación con los datos obtenidos del programa y los datos medidos para poder tomar acciones correctivas pues se tomó en consideración la variabilidad de la carga al realizar las mediciones.
- Se estableció alternativas de mejoramiento en el sistema de energía eléctrica en cuanto al nivel de voltaje y factor de potencia tomando en consideración la condición más crítica que está afectando a los alimentadores.
- Se modeló los alimentadores primarios de la subestación Salcedo, en el software de simulación eléctrica CYMDIST con las propuestas de solución para así poder cumplir con la normativa Nacional CONELEC 004/01 y la norma internacional ANSI C84.1 para medio voltaje.
- Las alternativas de mejoramiento propuestas incrementaron notablemente el nivel de voltaje en un 70% de los alimentadores en el sistema eléctrico lo que permitió mejorar la calidad de energía eléctrica al final de la troncal trifásica y en las barras de salida de la subestación Salcedo.

- Se mejoró los niveles de voltaje y factor de potencia en la subestación Salcedo y en el punto frontera con el Sistema Nacional Interconectado, por lo que se cumplió con el objetivo de este estudio propuesto.

6.2 RECOMENDACIONES

- En todos los alimentadores existen tramos trifásicos con exceso de carga, se debería realizar un estudio del lado de bajo voltaje para equilibrar la carga aguas abajo de los transformadores que están sobrecargados para contribuir con la calidad de energía eléctrica.
- En la ELEPCO S.A. como empresa distribuidora de energía eléctrica debería depurar la base de datos de clientes que generan tarifas \$0,00, eliminarlos del sistema o imponer la tarifa mínima de consumo pues en campo generan pérdidas no técnicas que termina por afectar a la empresa.
- Realizar un seguimiento en lo posible anual a los alimentadores y subestación Salcedo debido a las nuevas cargas que se van incorporando a la red para poder realizar una proyección de la carga.
- Se debería tomar en consideración como una propuesta de solución para el sistema eléctrico de la subestación Salcedo la normativa de calidad de energía eléctrica propuesta por la Empresa Eléctrica Ambato en la que señala que para alimentadores trifásicos previstos de diferentes tipos de clientes y de acuerdo al estudio de demanda se debería mínimo incrementar a un conductor 3/0 trifásico y en derivaciones monofásicas un conductor mínimo de 1/0 para minimizar caídas de voltajes.
- Realizar un estudio de coordinación de protecciones para la incorporación de la nueva subestación Yambo con la transferencia de carga propuesta en este estudio como solución a las mejoras de nivel de voltaje y factor de potencia.
- Realizar anualmente estudios de calidad de energía en todas las subestaciones de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A. para verificar los estados y condiciones de operación, de ser el caso proponer alternativas de solución para que la Empresa mejore su sistema eléctrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCONEL. (4 de Mayo de 2001). *Geoportal Estadístico*. Recuperado el 12 de Mayo de 2016, de <http://geoportal.regulacionelectrica.gob.ec/visor/index.html>

ARCONEL. (2016). *Regulación N° CONELEC - 004/01*. Quito: Conelec. Recuperado el 2 de Marzo de 2016

Basantes, M. (2010). *Estudio de la Calidad de Energía a Nivel de Usuario en el Primario N° 1 de la Subestación Salcedo (69/13.8 Kv) de la Empresa Eléctrica Cotopaxi*. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi. Recuperado el 2 de Abril de 2016

Burgos, A. (12 de Noviembre de 2012). *ION 8600*. Recuperado el 1 de Junio de 2016, de <https://es.scribd.com/doc/112946566/ION8600-Folleto-Largo-Espanol>

Cabanas, C. (21 de Junio de 2015). *ION 7550*. Recuperado el 25 de Junio de 2016, de <http://documents.mx/documents/ion-7550.html>

CELEC. (2 de Agosto de 2014). *Sistema Nacional de Transmisión*. Recuperado el 20 de Mayo de 2016, de https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/mapas/snt/SNT%202017-2023.html

CYME. (7 de Enero de 2014). *Cymdist*. Recuperado el 7 de Mayo de 2016, de <http://www.cyme.com/es/software/cymdist/>

ELECTRIC, S. (13 de Octubre de 2011). *Compensación de Energía y Filtrado de Armónicos*. Recuperado el 2 de Abril de 2016, de <http://www.schneider-electric.cl/documents/local/catalogos/de/cap5.pdf>

García, J. (2013). *Rincon Eléctrico*. Recuperado el 10 de Abril de 2016, de http://www.javierbotero.com/Javier_Botero/SUBESTACIONES.html

Gonzales, F. (2006). *Flujo de Potencia*. México D.F.: Independiente. Recuperado el 27 de Mayo de 2016

POVEDA, M. (2014). Recuperado el 15 de Junio de 2016, de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/hm000101.pdf>

Rada, R. (25 de Junio de 2016). *ANSI C84.1-2006*. Recuperado el 25 de Junio de 2016, de <https://es.scribd.com/doc/44546535/ANSI-C84-1>

Ramires, S. (2004). *Redes de distribucion de energía*. Recuperado el 20 de Marzo de 2016, de Google Books: https://books.google.com.ec/books?id=YP5-7MdPTz4C&pg=PA17&lpg=PA17&dq=factor%20de%20utilizacion%20planta%20coincidencia&source=bl&ots=1CU_Ubvhd&sig=xB9kYNMqIOfo4wcbOj9jAwYF_sw&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiT3aDCx7zMAhXBXB4KHwLIB2wQ6AEIHTAB#v=onepage&q&f=false

Ramírez, J. (2004). *Redes de Distribución de Energía*. Colombia: Universidad de Colombia. Recuperado el 23 de Abril de 2016

Ramón P., S. C. (2005). *DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS PÉRDIDAS QUE SE PRODUCEN EN EL ALIMENTADOR NO.4 A 13.8 KV. DE LA SUBESTACIÓN SALCEDO PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI*. Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército. Recuperado el 26 de Febrero de 2016

Saavedra, C. (2011). *Análisis y Diagnóstico del Sistema de Subtransmisión a 69 kV, para la Demanda Actual y para la Demanda Proyectada al Año 2020 en el Área de Concesión de la ELEPCO S.A.* Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi. Recuperado el 30 de Abril de 2016

SCHNEIDER, E. (16 de Septiembre de 2006). *Compensación de Energía Reactiva y Filtrado de Armónicos*. Recuperado el 17 de Junio de 2016, de <http://www.aemsys.com/depot/Schneider%20bater%C3%ADas%20de%20condensadores%20cat%C3%A1logo-tarifa.pdf>

Sig. (10 de Junio de 2016). *SIGADE*. Recuperado el 10 de Junio de 2016, de <http://geoportal.centrosur.gob.ec/geoinformacion/index.php/sigade/noticias-sigade/38-sample-content-13>

SYSTEMS, H. P. (30 de Octubre de 2011). *Instrumentos y Medidores*. Recuperado el 22 de Junio de 2016, de <http://www.hubbellpowersystems.com/catalogs/lineman/es/2450Spanish.pdf>

Terán, D. (2012). *Propuesta de mejora en base al Analisis de la Calidad de Energía de los Alimentadores N° 5 y 6 de la Subestación Lasso de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A. Usando la Regulación del Conelec N° 004/01*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L. Recuperado el 17 de Mayo de 2016

ULLOA, V. (2013). *ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN LA PLANTA CERRO BLANCO DE CEMENTO POLPAICO S.A.* Santiago de Chile: Universidad de Chile. Recuperado el 30 de Abril de 2016

UPME, C. (10 de Junio de 2016). *Calidad de Energía Electrica*. Recuperado el 10 de Junio de 2016, de <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Docs/calidad.pdf>

Zamora, A. (10 de Agosto de 2010). *Redes Eléctricas*. Recuperado el 7 de Marzo de 2016, de Carga y Demanda: <http://albazamora.blogspot.com/2010/04/carga-y-demanda-unidad-iii.html>.

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores:

Carlos Danilo Mise Guanoluisa y Nancy Elizabeth Chaquinga Bonifa

En la ciudad de Latacunga, a los **29 días del mes de septiembre del 2016.**

Ing. Ibeth Delgado

TUTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Katya Torres

DIRECTORA DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca Corrales

SECRETARIO ACADÉMICO