



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**ANALISIS Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION DE LA  
SUBESTACION CENTRO INDUSTRIAL CNEL LOS RIOS, BASADO EN LA  
CALIDAD DEL SERVICIO**

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

**ESPECIALIZACIÓN POTENCIA**

PRESENTADO POR:

**JOSE GREGORIO GOMEZ MORALES**

**TATIANA LISBETH NAGUA DURAN**

**JOHNNY ENRIQUE QUIROGA PICO**

**Guayaquil – Ecuador  
2009**

## **AGRADECIMIENTO**

*Expresamos nuestro profundo agradecimiento al PhD. CRISTÓBAL MERA, Director de Tópico, por la gran colaboración prestada para la elaboración de este trabajo.*

## DEDICATORIA

*A Dios y a mi familia por el apoyo incondicional brindado a lo largo de estos años...*

**José Gomes Morales.**

*A Dios, mi mama y a mi familia por el apoyo y la comprensión en cada una de mis decisiones, y a todos aquellos que me dieron fuerzas y creyeron en mí durante todo este tiempo.*

**Tatiana Nagua Durán.**

*A Dios por darme la fortaleza y la vida para seguir adelante, a mi familia pilar fundamental de mi existencia, a mi esposa por su esfuerzo y dedicación sobre la cual está sentada la base de mi felicidad, a la familia Troya Fuertes por todo su apoyo durante mi carrera, a todos ellos con mucho cariño les dedico el presente trabajo.*

**Johnny Quiroga Pico.**

## TRIBUNAL DE GRADUACION

---

Ing. Jorge Aragundi

SUBDECANO DE LA FIEC

---

PhD. Cristóbal Mera

DIRECTOR DE TOPICO

---

Ing. Douglas Aguirre

VOCAL PRINCIPAL

---

Ing. Gustavo Bermúdez

VOCAL PRINCIPAL.

## **DECLARACION EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este  
tópico de Graduación, nos corresponde  
exclusivamente; y el patrimonio intelectual  
de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Exámenes y Títulos  
Profesionales de la ESPOL)

---

José Gómez Morales

---

Tatiana Nagua Durán

---

Johnny Quiroga Pico

# RESUMEN

## **Capítulo 1: Introducción**

Se mencionan sobre la importancia y definición del problema actual de las redes de distribución primaria así como los objetivos del proyecto, y una breve descripción de la Subestación Centro Industrial, CNEL LOS RIOS.

## **Capítulo 2: Descripción del Sistema Eléctrico de la Subestación Centro Industrial**

Contiene los detalles de las características de la subestación, tanto de sus equipos de protección, cargas, alimentadores, transformadores y capacitores.

## **Capítulo 3: Análisis del sistema eléctrico actual de la Subestación Centro Industrial**

Abarca todos los estudios y análisis realizados, a fin de entender el comportamiento del sistema, incluye balance de corriente en las alimentadoras, la coordinación de las protecciones, el estudio de cortocircuito y todos los cálculos necesarios para obtener los índices de confiabilidad del sistema.

## **Capítulo 4: Rediseño del sistema eléctrico de la Subestación Centro Industrial**

En este capítulo se encuentran todas las mejoras estudiadas con el objetivo de mejorar la calidad de energía que es entregada diariamente a los usuarios, junto con los cálculos de los índices de confiabilidad que indican si las mejoras son o no recomendables tanto económica como funcionalmente.

### **Conclusiones y recomendaciones**

Se realizan conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

## INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	I
DEDICATORIA.....	II
TRIBUNAL DE GRADUACION .....	III
DECLARACION EXPRESA .....	IV
RESUMEN.....	V
INDICE GENERAL .....	VII
INDICE DE TABLAS .....	X
CAPÍTULO 1.        Introducción	
1.1.    Importancia y definición del Problema .....	2
1.2.    Objetivos .....	3
1.3.    Breve descripción de la Subestación Centro Industrial CNEL Los Ríos.....	3
CAPÍTULO 2.        Descripción del sistema eléctrico de la subestación Centro Industrial CNEL Los Ríos	
2.1.    Área de influencia .....	6
2.2.    Descripción de la Subestación.....	7
2.3.    Alimentadoras .....	19
2.4.    Transformadores de distribución .....	28
2.5.    Cargas .....	31
CAPÍTULO 3.        Análisis del Sistema Eléctrico Actual de la Subestación Centro Industrial CNEL Los Ríos	
3.1.    Calculo de Voltaje.....	43
3.1.1. Análisis de Variación de Voltaje .....	43
3.1.2. Variación de voltaje de las 3 alimentadoras de la Subestación .....	48
3.2.    Balance de las Alimentadoras .....	56

3.3.	Sistema de Protecciones .....	66
3.4.	Cargas / consumidores .....	95
3.5.	Información estadística de interrupciones .....	99
3.6.	Evaluación de la confiabilidad .....	109
3.7.	Estudio de cortocircuito .....	117
3.8.	Reglamento vigente de la calidad .....	138
CAPÍTULO 4. Rediseño del sistema eléctrico de la Subestación Centro Industrial CNEL Los Ríos		
4.1	Determinación de parámetros de diseño .....	153
4.2	Rediseño del sistema de protecciones basado en la calidad del servicio .....	167
4.3	Resultados del Rediseño por alimentador .....	185
4.4	Análisis de los resultados por alimentadora .....	192
Conclusiones y recomendaciones .....		208
ANEXOS		
ANEXO A		
Diagrama Unifilar del Sistema Eléctrico CNEL Los Ríos .....		215
ANEXO B		
Área de Influencia CNEL Los Ríos .....		217
ANEXO C		
Diagrama Unifilar de la Subestación Centro Industrial .....		219
ANEXO D		
Diagramas de las Alimentadoras de la Subestación Centro Industrial CNEL Los Ríos .....		221
ANEXO E		
Ejemplo de Cálculo de Voltaje de una alimentadora usando el método de porcentaje de impedancia .....		225
ANEXO F		
Cálculo Completo de Fallas de la Subestación Centro Industrial CNEL Los Ríos .....		232
ANEXO G		
Estadísticas de Fallas de la Subestación Centro Industrial CNEL Los Ríos .....		238

## ANEXO H

Índices de Calidad de Servicio Técnico de la Subestación Centro Industrial CNEL Los Ríos. 249

## ANEXO I

Ejemplo de cómo calcular los índices de confiabilidad de la Subestación Centro Industrial CNEL  
Los Ríos ..... 270

Bibliografía..... 283

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b>	Área de Influencia de la Subestación Centro Industrial.....	<b>6</b>
<b>Tabla 2.2</b>	Descripción General de la Subestación Centro Industrial.....	<b>7</b>
<b>Tabla 2.3</b>	Descripción de los Aisladores y Herrajes.....	<b>9</b>
<b>Tabla 2.4</b>	Descripción del Seccionador Tripolar.....	<b>9</b>
<b>Tabla 2.5</b>	Descripción del Seccionador Tripolar a Tierra.....	<b>10</b>
<b>Tabla 2.6</b>	Descripción del Interruptor en Gas SF6.....	<b>10</b>
<b>Tabla 2.7</b>	Descripción de los Pararrayos a nivel de 69KV.....	<b>11</b>
<b>Tabla 2.8</b>	Descripción de los Transformadores de Corriente.....	<b>11</b>
<b>Tabla 2.9</b>	Descripción de Conductores a Nivel de 69 KV.....	<b>12</b>
<b>Tabla 2.10</b>	Descripción del Transformador de Poder.....	<b>12</b>
<b>Tabla 2.11</b>	Descripción de los Pararrayos sobre el Transformador en el lado de Alta.....	<b>13</b>
<b>Tabla 2.12</b>	Descripción de Aisladores y Herrajes a nivel de 13.8 Kv.....	<b>14</b>
<b>Tabla 2.13</b>	Descripción del Interruptor de aire principal.....	<b>15</b>
<b>Tabla 2.14</b>	Descripción de los Interruptores de las Alimentadoras.....	<b>15</b>
<b>Tabla 2.15</b>	Descripción de los controles de las Alimentadoras.....	<b>15</b>
<b>Tabla 2.16</b>	Descripción de las cuchillas Seccionadoras de las Alimentadoras.....	<b>15</b>
<b>Tabla 2.17</b>	Descripción de los Conductores a Nivel de 13.8 KV.....	<b>16</b>
<b>Tabla 2.18</b>	Descripción de los Transformadores de Corriente a nivel de 13.8 KV.....	<b>16</b>
<b>Tabla 2.19</b>	Descripción de los Transformadores de Potencial a nivel de 13.8 KV.....	<b>16</b>
<b>Tabla 2.20</b>	Descripción del Transformador Auxiliar.....	<b>16</b>
<b>Tabla 2.21</b>	Descripción del Cargador de baterías del cuarto de Control.....	<b>17</b>
<b>Tabla 2.22</b>	Descripción del banco de baterías del cuarto de Control.....	<b>17</b>
<b>Tabla 2.23</b>	Descripción de los medidores de las Alimentadoras.....	<b>18</b>
<b>Tabla 2.24</b>	Descripción de los Dispositivos de Protección y Control.....	<b>18</b>
<b>Tabla 2.25</b>	Descripción de los Cables de Control.....	<b>19</b>
<b>Tabla 2.26</b>	Ubicación de Las Alimentadoras.....	<b>20</b>
<b>Tabla 2.27</b>	Tipos de carga de las Alimentadoras.....	<b>21</b>

<b>Tabla 2.28</b>	Descripción de la Carga Máxima por Alimentador.....	<b>21</b>
<b>Tabla 2.29</b>	Características de Líneas Distribución Alimentador JUJAN.....	<b>22</b>
<b>Tabla 2.30</b>	Características de Líneas Distribución Alimentador PUEBLONUEVO.....	<b>23</b>
<b>Tabla 2.31</b>	Características de Líneas Distribución Alimentador LA REFORMA.....	<b>23</b>
<b>Tabla 2.32</b>	Numero de transformadores de la Alimentadora LA REFORMA.....	<b>30</b>
<b>Tabla 2.33</b>	Numero de transformadores de la Alimentadora JUJAN.....	<b>30</b>
<b>Tabla 2.34</b>	Numero de transformadores de la Alimentadora PUEBLO NUEVO.....	<b>31</b>
<b>Tabla 2.35</b>	Potencia Máxima y Mínima de la Alimentadora La Reforma.....	<b>41</b>
<b>Tabla 2.36</b>	Potencia Máxima y Mínima de la Alimentadora Juján.....	<b>42</b>
<b>Tabla 2.37</b>	Potencia Máxima y Mínima de la Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>42</b>
<b>Tabla 3.1</b>	Límites permitidos de Voltaje en porcentaje del valor nominal.....	<b>50</b>
<b>Tabla 3.2</b>	Voltaje en porcentaje para Máxima carga Alimentadora La Reforma.....	<b>51</b>
<b>Tabla 3.3</b>	Voltaje en porcentaje para Máxima carga Alimentadora Juján.....	<b>53</b>
<b>Tabla 3.4</b>	Voltaje en porcentaje para Máxima carga Alimentadora Juján.....	<b>55</b>
<b>Tabla 3.5</b>	Corrientes por fases de las Alimentadoras.....	<b>59</b>
<b>Tabla 3.6</b>	Porcentaje de desbalance por fase en las alimentadoras.....	<b>59</b>
<b>Tabla 3.7</b>	Calculo del factor de utilización por fase en las alimentadoras.....	<b>60</b>
<b>Tabla 3.8</b>	Factor de utilización de las alimentadoras para máxima carga.....	<b>61</b>
<b>Tabla 3.9</b>	Densidad de carga de las Alimentadoras.....	<b>62</b>
<b>Tabla 3.10</b>	Porcentaje de desbalance de la alimentadora La Reforma.....	<b>63</b>
<b>Tabla 3.11</b>	Porcentaje de desbalance de la alimentadora La Juján.....	<b>65</b>
<b>Tabla 3.12</b>	Porcentaje de desbalance de la alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>66</b>
<b>Tabla 3.13</b>	Equipos de Protección S/E Centro Industrial.....	<b>69</b>
<b>Tabla 3.14</b>	Coordinación de Fase de la Alimentadora La Reforma.....	<b>71</b>
<b>Tabla 3.15</b>	Punto de Coordinación Reconector –Fusible.....	<b>72</b>
<b>Tabla 3.16</b>	Tiempos de Operación Alimentadora La Reforma.....	<b>73</b>
<b>Tabla 3.17</b>	Coordinación de Fase de la Alimentadora Juján.....	<b>73</b>
<b>Tabla 3.18</b>	Punto de Coordinación Reconector –Fusible.....	<b>75</b>
<b>Tabla 3.19</b>	Tiempos de Operación Alimentador Juján.....	<b>75</b>

<b>Tabla 3.20</b>	Coordinación de Fase de la Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>76</b>
<b>Tabla 3.21</b>	Punto de Coordinación Reconectador –Fusible.....	<b>77</b>
<b>Tabla 3.22</b>	Tiempos de Operación Alimentador Pueblo Nuevo.....	<b>77</b>
<b>Tabla 3.23</b>	Coordinación de Fase de la Alimentadora La Reforma.....	<b>78</b>
<b>Tabla 3.24</b>	Punto de Coordinación Reconectador –Fusible.....	<b>79</b>
<b>Tabla 3.25</b>	Tiempos de Operación Alimentador La Reforma.....	<b>80</b>
<b>Tabla 3.26</b>	Punto de Coordinación Reconectador –Fusible.....	<b>80</b>
<b>Tabla 3.27</b>	Tiempos de Operación Alimentador Juján.....	<b>81</b>
<b>Tabla 3.28</b>	Punto de Coordinación Reconectador –Fusible.....	<b>81</b>
<b>Tabla 3.29</b>	Tiempos de Operación Alimentador Pueblo Nuevo.....	<b>81</b>
<b>Tabla 3.30</b>	Numero de Fusibles Alimentadora La Reforma.....	<b>83</b>
<b>Tabla 3.31</b>	Coordinación de Fusibles Alimentadora La Reforma.....	<b>84</b>
<b>Tabla 3.32</b>	Numero de Fusibles Alimentadora Juján.....	<b>87</b>
<b>Tabla 3.33</b>	Coordinación de Fusibles Alimentadora Juján.....	<b>89</b>
<b>Tabla 3.34</b>	Numero de Fusibles Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>90</b>
<b>Tabla 3.35</b>	Coordinación de Fusibles Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>92</b>
<b>Tabla 3.36</b>	Densidad Característica.....	<b>97</b>
<b>Tabla 3.37</b>	Rango de Consumidores por Capacidad de Transformador.....	<b>99</b>
<b>Tabla 3.38</b>	Cargabilidad de las Alimentadoras de la S/E Centro Industrial.....	<b>100</b>
<b>Tabla 3.39</b>	Clasificación de las fallas por su duración Alimentadora La Reforma.....	<b>102</b>
<b>Tabla 3.40</b>	Clasificación de las fallas por su duración Alimentadora Juján.....	<b>102</b>
<b>Tabla 3.41</b>	Clasificación de las fallas por su duración Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>102</b>
<b>Tabla 3.42</b>	Clasificación de las fallas por su duración S/E Centro Industrial.....	<b>104</b>
<b>Tabla 3.43</b>	Clasificación de las fallas por su origen S/E Centro Industrial.....	<b>106</b>
<b>Tabla 3.44</b>	Clasificación de las fallas por su origen S/E Centro Industrial.....	<b>107</b>
<b>Tabla 3.45</b>	Clasificación de las fallas por el Voltaje Nominal S/E Centro Industrial.....	<b>109</b>
<b>Tabla 3.46</b>	Numero de fallas en los transformadores de la S/E Centro Industrial.....	<b>112</b>
<b>Tabla 3.47</b>	Numero de fallas de las líneas de las Alimentadoras S/E Centro Industrial..	<b>113</b>
<b>Tabla 3.48</b>	Tiempo de restauración de las Líneas Primarias.....	<b>116</b>

<b>Tabla 3.49</b>	Tiempo de Switcheo en las Alimentadoras Centro Industrial.....	<b>117</b>
<b>Tabla 3.50</b>	Resistencia a 50° C.....	<b>119</b>
<b>Tabla 3.51</b>	Disposición de los conductores para el análisis de cortocircuito.....	<b>123</b>
<b>Tabla 3.52</b>	Distancia media geométrica de los conductores.....	<b>122</b>
<b>Tabla 3.53</b>	Reactancia de los conductores de las Alimentadoras S/E Centro Industrial...	<b>122</b>
<b>Tabla 3.54</b>	Distancia media geométrica relacionadas al Neutro.....	<b>124</b>
<b>Tabla 3.55</b>	Impedancias de Secuencia Cero para las configuraciones dadas.....	<b>125</b>
<b>Tabla 3.56</b>	Datos para los cálculos de la Impedancia de Secuencia del Transformador..	<b>126</b>
<b>Tabla 3.57</b>	Impedancia de Secuencia positiva del Transformador.....	<b>127</b>
<b>Tabla 3.58</b>	Impedancia de Secuencia cero del Transformador.....	<b>128</b>
<b>Tabla 3.59</b>	Impedancia de Secuencia del Transformador Aguas Arriba.....	<b>130</b>
<b>Tabla 3.60</b>	Máxima Corriente de Falla Alimentadora La Reforma.....	<b>133</b>
<b>Tabla 3.61</b>	Máxima Corriente de Falla Alimentadora Juján.....	<b>134</b>
<b>Tabla 3.62</b>	Máxima Corriente de Falla Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>134</b>
<b>Tabla 3.63</b>	Limites de los Índices de Calidad de Servicio Técnico.....	<b>142</b>
<b>Tabla 3.64</b>	Índices de calidad de Servicio Técnico Alimentador La Reforma.....	<b>144</b>
<b>Tabla 3.65</b>	Índices de calidad de Servicio Técnico Alimentador Juján.....	<b>146</b>
<b>Tabla 3.66</b>	Índices de calidad de Servicio Técnico Alimentador Pueblo Nuevo.....	<b>148</b>
<b>Tabla 3.67</b>	Limites de los FMIK y TTIK de otros Países.....	<b>150</b>
<b>Tabla 3.68</b>	Comparación de los Índices de la S/E Centro Industrial.....	<b>152</b>
<b>Tabla 4.1</b>	Índices de Confiabilidad Alimentadora La Reforma.....	<b>156</b>
<b>Tabla 4.2</b>	Índices de Confiabilidad Alimentadora Juján.....	<b>158</b>
<b>Tabla 4.3</b>	Índices de Confiabilidad Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>158</b>
<b>Tabla 4.4</b>	Costos de Interrupción para el sistema eléctrico.....	<b>162</b>
<b>Tabla 4.5</b>	Costos de Interrupción.....	<b>163</b>
<b>Tabla 4.6</b>	Cargos Tarifarios para el Consumo Eléctrico.....	<b>163</b>
<b>Tabla 4.7</b>	Cargos Tarifarios para el Consumo Eléctrico.....	<b>166</b>
<b>Tabla 4.8</b>	Costos Totales Alimentadora La Reforma.....	<b>166</b>
<b>Tabla 4.9</b>	Costos Totales Alimentadora Juján.....	<b>167</b>
<b>Tabla 4.10</b>	Costos Totales Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>167</b>

<b>Tabla 4.11</b>	Tiempo de Switcheo en las Alimentadoras Centro Industrial.....	<b>168</b>
<b>Tabla 4.11a</b>	Mejora de tiempos de restauración y de reparación del servicio.....	<b>168</b>
<b>Tabla 4.11b</b>	Mejora de tiempos de restauración y de reparación del servicio.....	<b>169</b>
<b>Tabla 4.12a</b>	Tiempos de Restauración mejorado.....	<b>170</b>
<b>Tabla 4.12b</b>	Tiempos de Switcheo mejorado.....	<b>170</b>
<b>Tabla 4.13</b>	Índices de Confiabilidad Mej. Caso 1 Alimentadora La Reforma.....	<b>171</b>
<b>Tabla 4.14</b>	Costos Totales Mejorados Caso 1 Alimentadora La Reforma.....	<b>171</b>
<b>Tabla 4.15</b>	Índices de Confiabilidad Mejorados Caso 1 Alimentadora Juján.....	<b>171</b>
<b>Tabla 4.16</b>	Costos Totales Mejorados Caso 1 Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>171</b>
<b>Tabla 4.17</b>	Índices de Confiabilidad Mej. Caso 1 Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>172</b>
<b>Tabla 4.18</b>	Costos Totales Mejorados Caso 1 Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>172</b>
<b>Tabla 4.19</b>	Ubicación de los fusibles Caso 2 Alimentadora La Reforma .....	<b>173</b>
<b>Tabla 4.20</b>	Índices de Confiabilidad Mejorados Caso 2 Alimentadora La Reforma .....	<b>174</b>
<b>Tabla 4.21</b>	Costos Totales Mejorados Caso 2 Alimentadora La Reforma.....	<b>175</b>
<b>Tabla 4.22</b>	Ubicación de los fusibles Caso 2 Alimentadora Juján.....	<b>176</b>
<b>Tabla 4.23</b>	Índices de Confiabilidad Mejorados Caso 2 Alimentadora Juján.....	<b>178</b>
<b>Tabla 4.24</b>	Costos Totales Mejorados Caso 2 Alimentadora Juján.....	<b>179</b>
<b>Tabla 4.25</b>	Ubicación de los fusibles Caso 2 Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>180</b>
<b>Tabla 4.26</b>	Índices de Confiabilidad Mejorados Caso 2 Alimentadora Pueblo Nuevo....	<b>181</b>
<b>Tabla 4.27</b>	Costos Totales Mejorados Caso 2 Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>182</b>
<b>Tabla 4.28</b>	Índices de Confiabilidad Alimentadora La Reforma.....	<b>183</b>
<b>Tabla 4.29</b>	Costos de Interrupción e Inversión Alimentadora La Reforma.....	<b>183</b>
<b>Tabla 4.30</b>	Índices de Confiabilidad Alimentadora Juján.....	<b>184</b>
<b>Tabla 4.31</b>	Costos de Interrupción e Inversión Alimentadora Juján.....	<b>184</b>
<b>Tabla 4.32</b>	Índices de Confiabilidad Alimentadora Pueblonuevo.....	<b>185</b>
<b>Tabla 4.33</b>	Costos de Interrupción e Inversión Alimentadora Pueblonuevo.....	<b>185</b>

<b>Tabla 4.34</b>	Índices de Confiabilidad Seattle City Light.....	<b>186</b>
<b>Tabla 4.35</b>	Índices de Confiabilidad Meta Cooper.....	<b>188</b>
<b>Tabla 4.36</b>	Detalle de las mejoras en las Alimentadoras de la S/E Centro Industrial.....	<b>189</b>
<b>Tabla 4.37</b>	Índices de Confiabilidad los tres casos de la Alimentadora La Reforma.....	<b>190</b>
<b>Tabla 4.38</b>	Índices de Costos de los tres casos de la Alimentadora La Reforma.....	<b>191</b>
<b>Tabla 4.39</b>	Índices de Confiabilidad los tres casos de la Alimentadora Pueblo Nuevo....	<b>192</b>
<b>Tabla 4.40</b>	Índices de Costos de los tres casos de la Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>194</b>
<b>Tabla 4.41</b>	Índices de Confiabilidad los tres casos de la Alimentadora Pueblo Nuevo....	<b>194</b>
<b>Tabla 4.42</b>	Índices de Costos de los tres casos de la Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>194</b>
<b>Tabla 4.43</b>	Índices de Confiabilidad-CEARE.....	<b>195</b>
<b>Tabla 4.44</b>	Detalles de Mejoras Alimentadoras S/E Centro Industrial.....	<b>195</b>
<b>Tabla 4.45</b>	Tabla de Mejor Alternativa.....	<b>208</b>

# INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b>	Ubicación Geográfica General del Sistema Eléctrico.....	<b>4</b>
<b>Figura 2.1</b>	Estructuras a Nivel de 69 KV.....	<b>8</b>
<b>Figura 2.2</b>	Interruptor a Gas SF6.....	<b>10</b>
<b>Figura 2.3</b>	Transformadores de Corriente.....	<b>11</b>
<b>Figura 2.4</b>	Transformador de Poder de la Subestación Centro Industrial.....	<b>12</b>
<b>Figura 2.5</b>	Imagen del pórtico de salida de las alimentadoras.....	<b>13</b>
<b>Figura 2.6</b>	Número total de Transformadores de cada Alimentadora.....	<b>30</b>
<b>Figura 2.7</b>	Curva de Demanda Promedio Días Laborables Alimentadora La Reforma.....	<b>32</b>
<b>Figura 2.8</b>	Curva de Demanda Promedio Días Sábados Alimentadora La Reforma.....	<b>33</b>
<b>Figura 2.9</b>	Curva de Demanda Promedio Días Domingos Alimentadora La Reforma.....	<b>34</b>
<b>Figura 2.10</b>	Curva de Demanda Promedio Días Laborables Alimentadora Jujan.....	<b>35</b>
<b>Figura 2.11</b>	Curva de Demanda Promedio Días Sábados Alimentadora Jujan.....	<b>36</b>
<b>Figura 2.12</b>	Curva de Demanda Promedio Días Domingos Alimentadora Jujan.....	<b>37</b>
<b>Figura 2.13</b>	Curva de Demanda Promedio Días Laborables Alimentadora Pueblonuevo...	<b>39</b>
<b>Figura 2.14</b>	Curva de Demanda Promedio Días Sábados Alimentadora Pueblonuevo.....	<b>39</b>
<b>Figura 2.15</b>	Curva de Demanda Promedio Días Domingos Alimentadora Pueblonuevo...	<b>39</b>
<b>Figura 3.1</b>	Alimentadora Expreso.....	<b>44</b>
<b>Figura 3.2</b>	Artificio del Método Caída de Voltaje.....	<b>46</b>
<b>Figura 3.3</b>	Perfil de Voltaje de la Troncal de la Alimentadora La Reforma.....	<b>51</b>
<b>Figura 3.4</b>	Perfil de Voltaje de la Troncal de la Alimentadora Jujan.....	<b>53</b>
<b>Figura 3.5</b>	Perfil de Voltaje de la Troncal de la Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>55</b>
<b>Figura 3.6</b>	Desbalance de Corriente de la Alimentadora La Reforma.....	<b>62</b>
<b>Figura 3.7</b>	Desbalance de Corriente de la Alimentadora Jujan.....	<b>63</b>
<b>Figura 3.8</b>	Desbalance de Corriente de la Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>65</b>
<b>Figura 3.9</b>	Diagrama Unifilar de Protecciones de la S/E Centro Industrial.....	<b>67</b>
<b>Figura 3.10</b>	Coordinación de Fase de la Alimentador La Reforma.....	<b>70</b>
<b>Figura 3.11</b>	Coordinación de Fase de la Alimentador Jujan.....	<b>73</b>
<b>Figura 3.12</b>	Coordinación de Fase de la Alimentador Pueblo Nuevo.....	<b>75</b>

<b>Figura 3.13</b>	Coordinación de Fase de la Alimentador La Reforma .....	<b>78</b>
<b>Figura 3.14</b>	Clasificación de las fallas por su duración S/E Centro Industrial.....	<b>102</b>
<b>Figura 3.15</b>	Clasificación de las fallas por su origen S/E Centro Industrial.....	<b>104</b>
<b>Figura 3.16</b>	Clasificación de las fallas por su causa S/E Centro Industrial.....	<b>106</b>
<b>Figura 3.17</b>	Clasificación de las fallas por su origen S/E Centro Industrial.....	<b>107</b>
<b>Figura 3.18</b>	Circuito de secuencia cero para transformador Delta-Estrella.....	<b>127</b>
<b>Figura 3.19</b>	Perfiles de corriente de Falla de la Alimentadora La Reforma .....	<b>133</b>
<b>Figura 3.20</b>	Perfiles de corriente de Falla de la Alimentadora Jujan.....	<b>134</b>
<b>Figura 3.21</b>	Perfiles de corriente de Falla de la Alimentadora Pueblonuevo.....	<b>135</b>
<b>Figura 3.22</b>	Frecuencia Media de Interrupción Alimentadora La Reforma.....	<b>141</b>
<b>Figura 3.23</b>	Tiempo Total de Interrupción Alimentadora La Reforma.....	<b>141</b>
<b>Figura 3.24</b>	Frecuencia Media de Interrupción Alimentadora Jujan.....	<b>143</b>
<b>Figura 3.25</b>	Tiempo Total de Interrupción Alimentadora Jujan .....	<b>143</b>
<b>Figura 3.26</b>	Frecuencia Media de Interrupción Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>145</b>
<b>Figura 3.27</b>	Tiempo Total de Interrupción Alimentadora Pueblo Nuevo.....	<b>145</b>

# **CAPÍTULO 1. Introducción**

## 1.1. Importancia y definición del Problema

El problema de Protección de los Sistemas Eléctricos de Distribución ha venido adquiriendo cada vez mayor importancia ante el crecimiento acelerado de las redes eléctricas y la exigencia de un suministro de energía a los consumidores con una calidad de servicio cada vez mayor.

En los sistemas de distribución aérea, entre el 80 y el 95 % de las fallas son de tipo temporal; es decir, duran desde unos pocos ciclos hasta unos segundos. Las causas típicas de fallas temporales son: Contacto de líneas empujadas por el viento, ramas de árboles que tocan líneas energizadas, descargas de rayos sobre aisladores, pájaros y en general pequeños animales que ocasionan un cortocircuito en una línea con una superficie conectada a tierra, etc.

Desde que la demanda de energía eléctrica comenzó a ser mayor, las industrias productoras de energía eléctrica se vieron en la necesidad de diseñar equipos y sistemas que permitieran que el suministro de energía fuera constante y seguro. La seguridad debía ser no solo para garantizar el suministro de energía sino también para proteger los equipos de los usuarios de eventuales descargas eléctricas o sobre corrientes.

El presente trabajo, tiene como objetivo principal mejorar el diseño de distribución eléctrico de la Subestación Centro Industrial basado en la Calidad de Servicio. Por esa razón es necesario establecer índices que permitan medir mediante comparación con otras empresas, relativamente mejores, la calidad de Servicio ofertada a los clientes.

La solución planteada deberá ser la mejor técnicamente hablando pero a su vez que sea económicamente viable para así llegar a un equilibrio entre costos de inversión y costos de interrupción.

## **1.2. Objetivos**

- Rediseñar el sistema de distribución primario de la Subestación Centro Industrial que presente una confiabilidad mejor a la actual.
- Obtener los índices de duración y frecuencia de fallas del sistema de distribución actual de la Subestación Centro Industrial.
- Rediseñar la topología de la red y el sistema de protecciones de las alimentadoras de la subestación considerando el estudio de confiabilidad.

## **1.3. Breve descripción de la Subestación Centro Industrial CNEL Los Ríos**

El Sistema Eléctrico de Distribución los Ríos, está ubicado en la Provincia de los Ríos, en la zona centro oeste del territorio Ecuatoriano.

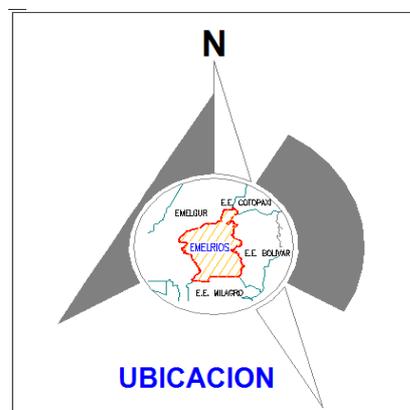
El área de concesión de la Empresa Eléctrica CNEL, está constituida por 8 cantones de la Provincia de los Ríos, Babahoyo, Ventanas, Vinces, Pueblo Viejo, Urdaneta, Montalvo, Baba y Palenque; y 1 de la Provincia del Guayas, Alfredo Baquerizo Moreno (Juján); siendo su área de concesión de

4500 Km<sup>2</sup>, abarcando aproximadamente el 70 % de toda la extensión Provincial.

El Sistema Eléctrico de Distribución de la Empresa Eléctrica CNEL Región Los Ríos en OPERACIÓN, es un sistema radial que se encuentra alimentada por una línea de 138 Kv de 46.4 Km de longitud que parte de la S/E Milagro hacia Babahoyo, entregando la energía a 69 Kv en la S/E Nelson Mera Silva, siendo la S/E matriz, partiendo a los diferentes puntos del área de concesión del sistema CNEL.

Es necesario resaltar que en el sistema eléctrico los Ríos, una parte de sus líneas y equipos cuenta con más de veinte años ininterrumpidos de trabajo, considerándose obsoletos por el tiempo de vida útil que especifican los manuales, pero por la falta de inversión todavía se encuentran en plena operación.

En la **Figura 1.1**, se presenta el mapa con la ubicación geográfica general del Sistema Eléctrico construido en la Provincia de Los Ríos. En el **Anexo A** se puede apreciar el diagrama unifilar del mismo.



**Ubicación Geográfica General del Sistema Eléctrico**  
**Fig. 1.1**

**CAPÍTULO 2. Descripción del  
sistema eléctrico de la subestación  
Centro Industrial CNEL Los Ríos**

## 2.1. Área de influencia

La Subestación Centro Industrial está ubicada en la vía de acceso a ECUAPEL a 3,5 Km de la vía Babahoyo - Juján, la cual entro en operación en el año de 1990. Para la distribución de la energía, su área de influencia está integrada por cuatro alimentadoras, estas alimentadoras se muestran a continuación con los sectores a los que proveen en la **Tabla 2.1**.

Ver **Anexo B**.

<b>REFORMA</b>	<b>JUJAN</b>
<b>SECTORES</b>	<b>SECTORES</b>
Cementerio General de Babahoyo	Ecuavegetal
Instituto Babahoyo	Recinto San Luis
SRI	Recinto Loma de Ñauza
Hospital Martin Icaza	Recinto Mata de Caña
Ciudadela Otto Arosemena	Recinto Tres Postes
Camal Municipal	Recinto Mamanica
Coca Cola y Duragas	Gasolinera Gabela
<b>PUEBLONUEVO</b>	<b>LIBRE</b>
<b>SECTORES</b>	<b>SECTORES</b>
Recinto La Macarena	
Recinto La Teresa	
Recinto Matecito	
Escuela 24 de Julio	
Hcda Lorenita María Touma	

**Área de Influencia de la Subestación Centro Industrial**  
**Tabla 2.1**

En la **Tabla 2.1** se puede observar que tanto las alimentadoras Juján, La Reforma, Pueblonuevo; alimentan netamente a las piladoras, recintos, parroquias y en su gran mayoría sectores rurales y urbanos a lo largo de su recorrido; que se caracterizan por tener cargas de tipo industrial, comercial y residencial.

## 2.2. Descripción de la Subestación

En la **tabla 2.2** se presenta una descripción general de la subestación centro Industrial donde se puede apreciar la ubicación correcta y el año que fue construida.

UBICACIÓN	AÑO DE CONST.	AREA (m <sup>2</sup> ) TERRENO	PROPIETARIO DEL TERRENO	TELEFONO
Vía de acceso a ECUAPEL a 3,5 Km de la vía Babahoyo-Juján	1989	1.155,00	CNEL	-

**Descripción General de la Subestación Centro Industrial  
Tabla 2.2**

### **Cerramiento:**

Cerca perimetral de estructura de hormigón armado con paredes de bloque, con 1 puerta metálica abatible para acceso vehicular y 1 puerta metálica para acceso de personal.

**Vivienda del guardián operador:**

Edificación de una planta de hormigón armado con cubierta de duratecho de 100 m<sup>2</sup>, con 3 dormitorios, 1 sala, 1 comedor, 1 cocina, y 1 baño.

**PATIO 69 KV****Estructuras:**

Torre Galvanizada tipo H de 8,24 m de altura con una bandeja en su parte superior para soportar 1 seccionador manual con aterrizamiento a tierra de 69 KV.

Las torres y la bandeja están hechas de hierro ángulo de 3"x3"x1/4" para los largueros y de 2"x2"x1/4" para los tirantes.

Las estructuras descansan sobre bases de hormigón armado, y están sujetas con pernos de acero empotrados.



**Estructuras a Nivel de 69 KV**  
**Fig. 2.1**

### **Aisladores y herrajes:**

DESCRIPCION	CANTIDAD
Aisladores 69 KV tipo poste para estructura tangente	3
Aisladores de suspensión de vidrio 69 KV	36
Grapa terminal 2/0 AWG	3

**Descripción de los Aisladores y Herrajes**  
**Tabla 2.3**

### **Seccionador tripolar manual:**

MARCA	TIPO	KV máx.	BIL (KV)	Icontinua (A)	Iinst (KA)
RUHRTAL	32-2103-02	72,5	350	1250	25

**Descripción del Seccionador Tripolar**  
**Tabla 2.4**

### Seccionador tripolar manual con aterrizamiento a tierra:

MARCA	TIPO	KV máx.	BIL (KV)	Icontinúa (A)	Iinst (KA)
RUHRTAL		72,5	350	1250	25

Descripción del Seccionador Tripolar a Tierra  
Tabla 2.5

### Interruptor en gas SF6 (GCB):

MARCA	TIPO	SERIE	KV máx.	BIL (KV)	Icontinua (A)	Iinterr máx. (KA)	AÑO FABRI.
AEG	S1-72,5-145	307190	72,5	350	1250	16	1987

Descripción del Interruptor en Gas SF6  
Tabla 2.6

El GCB descansa sobre unas bases de hormigón armado de 1,2m x 1,2m, y está sujeto con pernos de acero empotrados.



Interruptor a Gas SF6  
Fig. 2.2

### Pararrayos en estructura 69 KV:

FASE	MARCA	TIPO	SERIE	Id máx. (KA)	Vnominal (Kv)	MCOV (KV)	BIL (KV)	UNIDAD APILADA
A	AEG		87E2126	32	60	47	350	1
B	AEG		87E2127	32	60	47	350	1
C	AEG		87E2128	32	60	47	350	1

Descripción de los Pararrayos a nivel de 69 KV  
Tabla 2.7

### Transformadores de corriente:

FASE	MARCA	TIPO	RELACION	BIL (KV)
A	MWB	97-880-022	600-300/5	350
B	MWB	97-880-022	600-300/5	350
C	MWB	97-880-022	600-300/5	350

Descripción de los Transformadores de Corriente  
Tabla 2.8



Transformadores de Corriente  
Fig. 2.3

**Conductores:**

<b>USADO PARA</b>	<b>69 KV</b>	<b>ATERRIZAMIENTO</b>
<b>TIPO DE CABLE</b>	2/0 AWG Aluminio	4/0 AWG Cu DESNUDO
<b>LONGITUD (METROS)</b>	200	25

**Descripción de Conductores a Nivel de 69 KV**  
**Tabla 2.9**

**TRANSFORMADOR DE PODER****Base:**

Base de hormigón armado de 5,77 m<sup>3</sup>.

**Transformador 69000/13800Y voltios:**

<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	<b>No. SERIE</b>	<b>(MVA) OA/FA</b>	<b>IMPED. Z (%)</b>	<b>VOLUMEN ACEITE (LT)</b>	<b>PESO (TONELADA) TOTAL</b>	<b>AÑO FABR.</b>
TRAFO UNION	TLUN7049	339407	10/12,5	5,9	6200	18,7	1987

**Descripción del Transformador de Poder**  
**Tabla 2.10**



**Transformador de Poder de la Subestación Centro Industrial  
Fig. 2.4**

**Pararrayos sobre el transformador del lado de alta tensión:**

<b>FASE</b>	<b>MARCA</b>	<b>Id máx. (KA)</b>	<b>Vnominal (Kv)</b>	<b>MCOV (KV)</b>	<b>BIL (KV)</b>	<b>UNIDAD APILADA</b>
A	AEG	32	60	47	350	1
B	AEG	32	60	47	350	1
C	AEG	32	60	47	350	1

**Descripción de los Pararrayos sobre el Transformador en el lado de Alta Tensión  
Tabla 2.11**

## PATIO 13,8 KV

### Estructuras:

3 pórticos de 12m de altura de poste de hormigón armado de diámetro unidos entre sí, empotrados sobre base de hormigón armado de 6,55 m<sup>3</sup>, 1 seccionador principal tipo encapsulado, 4 salidas de alimentadoras.

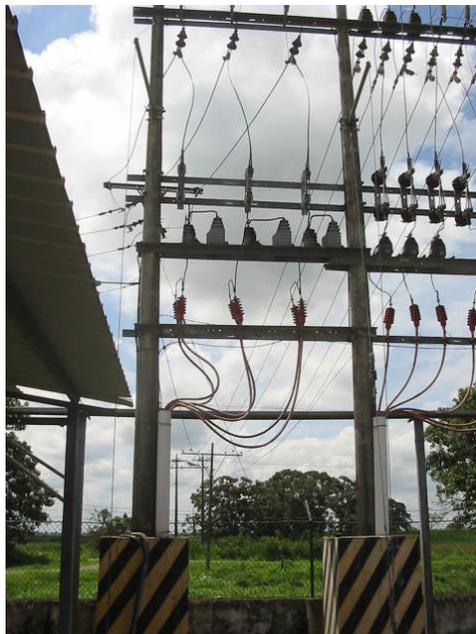


Imagen del Pórtico de salida de las Alimentadoras  
Fig. 2.5

### Aisladores y herrajes:

DESCRIPCION	CANTIDAD
Aislador de suspensión 15 KV	18
Perno de ojo 5/8"	36
Perno de ojo 3/4"	-
Puntas terminales 2/0 AWG	12
Grapa pistola 2/0	9

Descripción de Aisladores y Herrajes a nivel De 13.8  
Tabla 2.12

**Interruptor de aire principal:**

MARCA	TIPO	KV máx.	BIL (KV)	Icontinua (A)	Iinst (KA)
SIEMENS	3AF	15	110	1200	25

**Descripción del Interruptor de aire principal**  
Tabla 2.13

**Interruptores de las alimentadoras:**

ALIMENTADORA	MEDIO AISLANTE	MARCA	TIPO	KV máx.	Icontinúa (A)	Iinterr máx. (KA)
La Reforma	VACIO	SIEMENS	AT-630-20DTF	17,5	630	16
Juján			AT-630-20DTF	17,5	630	16
Pueblo Nuevo			AT-630-20DTF	17,5	630	16
Libre			AT-630-20DTF	17,5	630	16

**Descripción de los Interruptores de las Alimentadoras**  
Tabla 2.14

**Controles de las alimentadoras:**

ALIMENTADORA	MARCA	FORMA	SERIE
La Reforma	COOPER	4C	239019
Juján	COOPER	4C	238975
Pueblo Nuevo	COOPER	4C	233886

**Descripción de los controles de las Alimentadoras**  
Tabla 2.15

**Cuchillas seccionadoras de las alimentadoras:**

ALIMENTADORA	BIL (KV)	Icontinúa (A)	KV máx.	MARCA/TIPO					
				ENTRADA DE ALIMENTADORA			SALIDA DE ALIMENTADORA		
				FASE A	FASE B	FASE C	FASE A	FASE B	FASE C
La Reforma	110	200	15	Encapsuladas			ABB	ABB	ABB
Juján	110	200	15				ABB	ABB	ABB
Pueblo Nuevo	110	200	15				ABB	ABB	ABB

**Descripción de las cuchillas Seccionadoras de las Alimentadoras**  
Tabla 2.16

**Conductores:**

USADO PARA	BARRA PRINCIPAL	ATERRIZAMIENTO
TIPO DE CABLE	2/0 Cu TW	0
LONGITUD (METROS)	72	20

**Descripción de los Conductores a Nivel de 13.8 KV  
Tabla 2.17**

**Transformadores de corriente:**

FASE	MARCA	TIPO	RELACION	BIL (KV)	SERIE	BURDEN	PRECISION
A	ABB	KOT-11	300/5	110	29317015	B-1.8	C-200
B	ABB	KOT-11	300/5	110	29317013	B-1.8	C-200
C	ABB	KOT-11	300/5	110	29317014	B-1.8	C-200

**Descripción de los transformadores de Corriente a nivel de 13.8 KV  
Tabla 2.18**

**Transformadores de potencial:**

FASE	MARCA	TIPO	RELACION (70:1)	BIL (KV)	SERIE	BURDEN	PRECISION
A	G. E		8400/120	110	177557004	1200	
B	G. E	VOG-11	8400/120	110	10319613	1200	
C	Westinghouse		8400/120	110	177557049	1200	

**Descripción de los transformadores de Potencial a nivel de 13.8 KV  
Tabla 2.19**

**Transformador de auxiliares:**

MARCA	TIPO	CAPACIDAD (KVA)	RELACION	BIL (KV)
ABB	CSP	15	7620/240 V	110

**Descripción del Transformador Auxiliar  
Tabla 2.20**

**Banco de capacitores desconectable:**

No hay banco de capacitores

**CUARTO DE CONTROL****Edificación:**

De 1 planta de hormigón armado de 66 m<sup>2</sup> con 1 baño y 1 cuarto de baterías.

**Banco de baterías:**

CARGADOR DE BATERIAS								
MARCA	MODELO	SERIE	ENTRADA A.C.			SALIDA D.C.		
			VOLTAJE	AMPERAJE	Hz	VOLTAJE	AMPERAJE	RIZADO
Siemens		95PS775	130	30	60	48	30	

Descripción del Cargador de baterías del cuarto de Control  
Tabla 2.21

BATERIAS								
#	1	2	3	4	5	.....	19	20
<b>VOLTAJE</b>	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
<b>AH</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>MARCA</b>	VARTA							

Descripción del banco de baterías del cuarto de Control  
Tabla 2.22

**Tableros:**

Uno metálico con paneles de Breakers AC y DC donde van montados los medidores FULCRUM y los dispositivos de protección y control.

**Medición:**

MEDIDOR	SERVICIO	MARCA	TIPO	SERIE	VOLTAJE	CLASE	ELEM.
FULCRUM	Totalizador	SCHLUMBERGER		84609407	120	10	2 1/2
FULCRUM	Juján	SCHLUMBERGER		18609025	120	20	2 1/2
FULCRUM	La Reforma	SCHLUMBERGER		2729965	120	20	2 1/2
FULCRUM	Pueblonuevo	SCHLUMBERGER		97016034	120	20	2 1/2

**Descripción de los medidores de las Alimentadoras**  
**Tabla 2.23**

Cada medidor está instalado con una base socket clase 20 trifásica de 13 terminales y un Switch de prueba de 9 terminales.

**Dispositivos de protección y control:**

DESCRIPCION	MARCA	TIPO	CANTIDAD (METROS)
Relé de baja frecuencia	SIEMENS	7RP72	1
Panel de alarmas	PANALARM	910DC48T	1
Relé para protección Sobrecorriente	SIEMENS	7SJ50	8
Switch apertura – cierre	G.E.		1
Lámparas indicadoras	G.E.		3
Relé lockout aux. protec. TPU	G.E.	HEA61	1
Regletas con cortocircuito 6 puntos	G.E.	EB27B065	2
Regletas de 12 puntos	G.E.	EB25L12	4
Breakers 1P-20	G.E.	THQC	8
Breakers 2P-20	G.E.	THQC	9
Breakers 2P-40	G.E.	THQC	1
Breakers 2P-50	G.E.	THQC	2

**Descripción de los Dispositivos de Protección y Control**  
**Tabla 2.24**

**Cables de control:**

DESCRIPCION	TIPO AISLAM.	CANTIDAD (METROS)
Cable concéntrico Cu 4 #12 AWG	TW	107
Cable Cu #16 AWG	TW	48
Cable Cu #12 AWG	TW	394
Cable Cu #8 AWG	TW	210

**Descripción de los Cables de Control  
Tabla 2.25**

**MALLA DE TIERRA**

El sistema de aterrizamiento de la subestación consta de:

- 20 varillas COPPERWELD 3/4" x 2,5m para puesta a tierra
- 120m de cable de cobre desnudo # 4/0 AWG

El **Anexo C** muestra el diagrama unifilar de la Subestación Centro Industrial.

**2.3. Alimentadoras**

La subestación Centro Industrial dispone de cuatro alimentadoras de las cuales una está libre y las tres restantes tienen como áreas de influencia las piladoras, fábricas y recintos a lo largo de la vía Babahoyo, Juján, Febres Cordero. En la **Tabla 2.26** se especifica las direcciones desde el arranque de la alimentadora (ubicación de la Subestación) siguiendo el camino que recorre la troncal hasta donde esta termina.

<b>ALIMENTADORAS</b>	<b>Ubicación</b>	
	<b>Desde</b>	<b>Hasta</b>
<b>La Reforma</b>	Vía de acceso a ECUAPEL a 3,5 Km de la vía Babahoyo-Juján	La calle Eloy Alfaro y Juan X. Marcos
<b>Juján</b>	Vía de acceso a ECUAPEL a 3,5 Km de la vía Babahoyo-Juján	Recinto Puerto Mate
<b>Pueblo Nuevo</b>	Vía de acceso a ECUAPEL a 3,5 Km de la vía Babahoyo-Juján	Recinto El Achote
<b>Libre</b>		

**Ubicación de Las Alimentadoras**  
**Tabla 2.26**

Se ha identificado una particularidad en las alimentadoras en cuanto a tipo de clientes se refiere. En la **Tabla 2.27** se tiene que las tres alimentadoras pertenecen a sectores rurales y urbanos por que alimentan clientes de tipo residencial, comercial e industrial.

<b>ALIMENTADORAS</b>	<b>TIPO DE CARGA</b>
<b>La Reforma</b>	Residencial, comercial e Industrial
<b>Juján</b>	Residencial, comercial e Industrial
<b>Pueblo Nuevo</b>	Residencial, comercial e Industrial

**Tipos de carga de las Alimentadoras**  
**Tabla 2.27**

En la **Tabla 2.28**, se muestra la carga máxima conectada a las alimentadoras hasta Junio del 2008. En esta se observa que la alimentadora La Reforma es la que mayor carga conectada tiene y la alimentadora Pueblo Nuevo es la que tiene menos carga.

<b>Alimentadoras</b>	<b>Carga máxima[MW]</b>
<b>La Reforma</b>	4,65
<b>Juján</b>	4,18
<b>Pueblo Nuevo</b>	0,80

**Descripción de la Carga Máxima por Alimentadora**  
**Tabla 2.28**

Las alimentadoras cuentan con ramales trifásicos ( $3\Phi$ ), y monofásicos ( $1\Phi$ ); con distintos calibres de conductor. En las **Tablas 2.29 - 2.30 – 2.31** se describen cada una de las alimentadoras con sus respectivos calibres de conductor, longitudes y el tipo de línea ya sea Urbana o Rural.

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN					
ALIMENTADOR TRIFÁSICO: JUJAN (S/E CENTRO INDUSTRIAL)					
Sección de alimentador	Descripción	Longitud (M)	Conductor de fase	Conductor de neutro	Tipo de línea (U/R)
	1	2	3	4	5
Tramo trifásico 01	SUBESTACION CENTRO INDUSTRIAL - JUJAN	9.278,00	3/0	2	R
Tramo trifásico 02	JUJAN - RCTO. TRES POSTES	15.116,00	3/0	2	R
Tramo trifásico 03	RCTO. TRES POSTES - RCTO. PTO MATE	10.952,00	3/0	2	R
...					
Ramal bifásico 01					
Ramal bifásico 02					
Ramal bifásico 03					
...					
Ramal monofásico 01	TOTAL RAMALES	32.041,00	2	2	R
Ramal monofásico 02					
Ramal monofásico 03					
...					

Características Básicas de Líneas de Distribución Alimentador JUJAN  
Tabla 2.29

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN					
ALIMENTADOR TRIFÁSICO: PUEBLONUEVO (S/E CENTRO INDUSTRIAL)					
Sección de alimentador	Descripción	Longitud (M)	Conductor de fase	Conductor de neutro	Tipo de línea (U/R)
	1	2	3	4	5
Tramo trifásico 01	TRONCAL JUJAN - PUEBLONUEVO	27.703,66	3/0	2	R
Tramo trifásico 02					
...					
Ramal bifásico 01					
Ramal bifásico 02					
Ramal bifásico 03					
...					
Ramal monofásico 01	TOTAL RAMALES	16.434,00	2	2	R
Ramal monofásico 02					
Ramal monofásico 03					
...					

Características Básicas de Líneas de Distribución Alimentador PUEBLONUEVO  
Tabla 2.30

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN					
ALIMENTADOR TRIFÁSICO: LA REFORMA (S/E CENTRO INDUSTRIAL)					
Sección de alimentador	Descripción	Longitud (M)	Conductor de fase	Conductor de neutro	Tipo de línea (U/R)
	1	2	3	4	5
Tramo trifásico 01	TRONCAL BABAHOYO - LAS PEÑAS	2.536,00	3/0	2	U
Tramo trifásico 02	TRONCAL JUJAN - LAS PEÑAS	740,44	3/0	2	U
Tramo trifásico 03	TRONCAL LAS PEÑAS - BABAHOYO	2.031,00	3/0	2	R
Tramo trifásico 04	RESTO TRIFASICO	11.965,01	3/0	2	U
...					
Ramal bifásico 01	CALLE GARCIA MORENO - ROLDOS	240,00	2	2	U
Ramal bifásico 02					
...					
Ramal monofásico 01	TOTAL RAMALES	1.354,95	2	2	R
Ramal monofásico 02					
Ramal monofásico 03					
...					

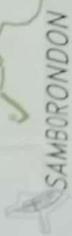
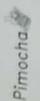
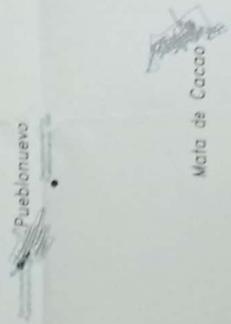
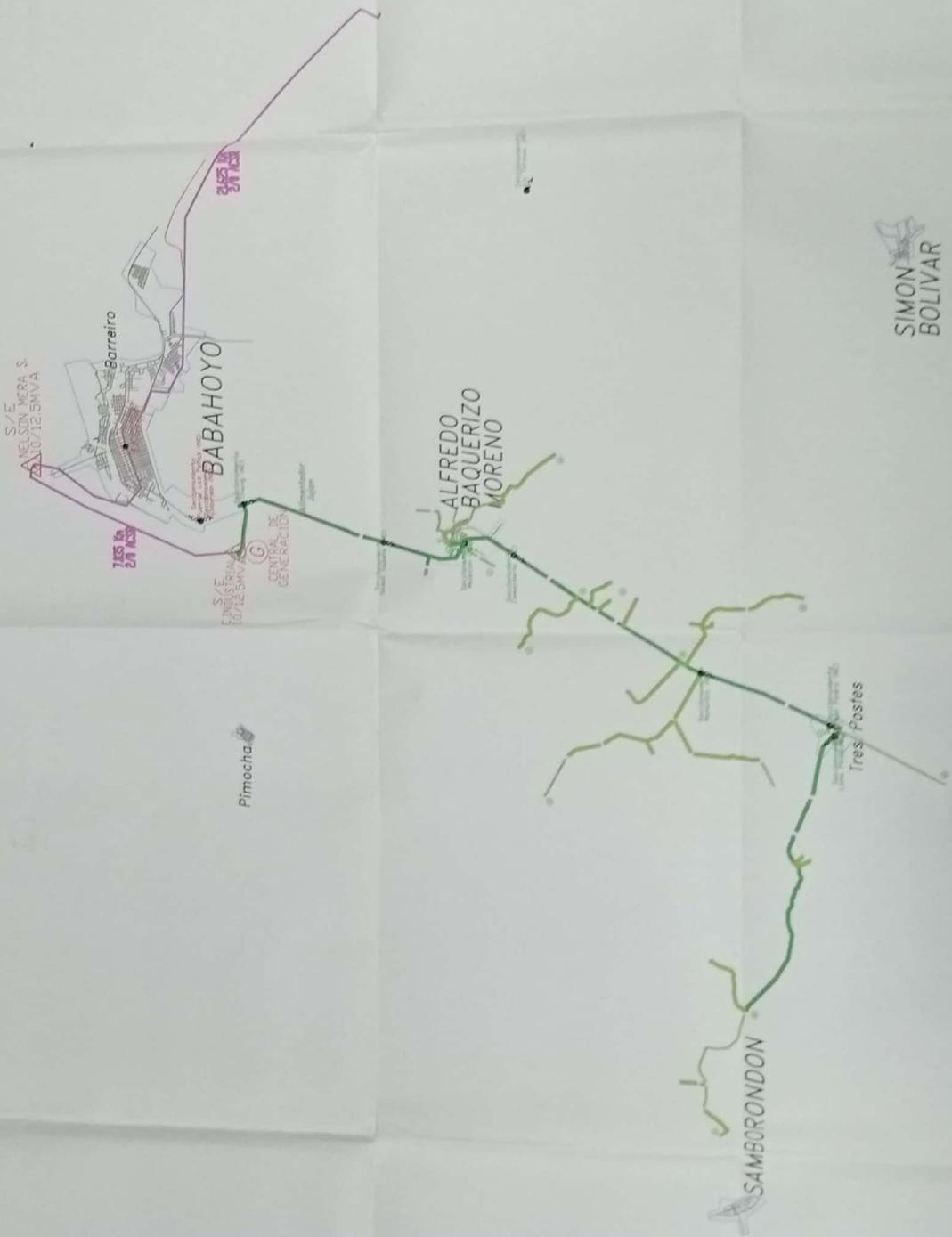
Características Básicas de Líneas de Distribución Alimentador LA REFORMA  
Tabla 2.31

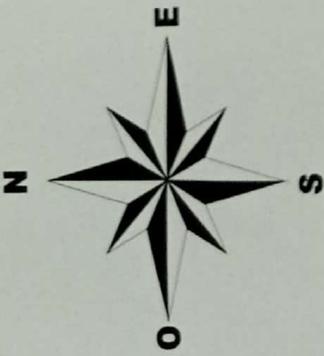
## Diagramas de Alimentadoras

A continuación se mostrarán el diagrama físico de cada alimentadora.



EMPRESA ELECTRICA CNEL S.A. BARRIO - CENAL		REGIONES	
S/E. CENTRO INDUSTRIAL ALIMENTADORA JUAN		N° DE	NOMBRES
NACION / LEVANT		N° DE	FECHA
DISEÑO		REVISIÓN	





S/E  
LA CHORRERA  
10/12.5MVA



<b>EMPRESA ELECTRICA ONEL S.A.</b> BIBANOTO - ECUADOR	
<b>S/E CENTRO INDUSTRIAL ALIMENTADORA LA REFORMA</b>	
ESCALA: 1:7500	DIGITALIZACION/LEVANT.
FECH: 25-09-09	FECHA: 25-09-09
DISE: WALBA	NOMBRES
REF: GEOGRAF	NOMBRES
	FECHA
	NOMBRES
	FECHA



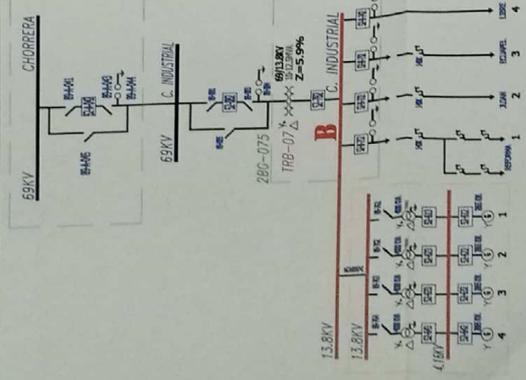
S/E  
C. INDUSTRIAL  
10/12.5MVA

**EMPRESA ELECTRICA CNEL S.A.**  
BAMBACÓ - COLOMBIA

ESCALA: 1:20000  
EDICIÓN: 25-09-05  
DISEÑO: REF.

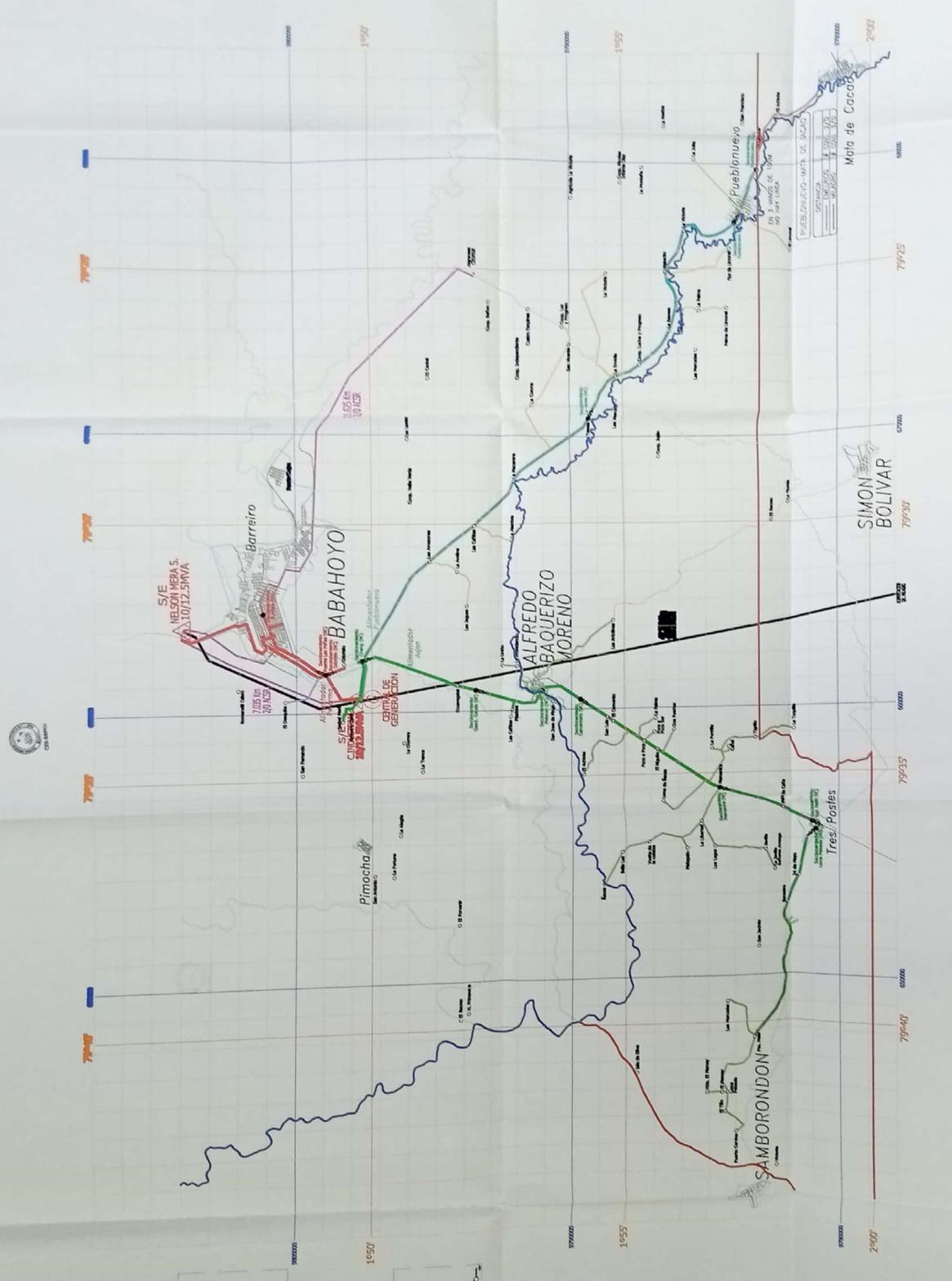
DIGITALIZACIÓN/LEVANT.  
NOMBRES: REVISIONES  
FECHA: NOMBRES: FECHA:

25-09-05



**SIMBOLOGIA**

- Linea 6 138KV Estrella
- Linea 6 138KV Estrella
- Linea 138KV Normalizado Retorno
- Linea 138KV Normalizado Alfin
- Linea 138KV Normalizado Puntos
- Linea 138KV Normalizado Puntos
- Linea de Conexión Estrella
- Linea Principal
- Linea Central
- Linea Periférica
- Capataz de Proyecto
- Cable
- Pararraya
- Resaca
- Suscriptor M (Normalizado Alfin)
- Suscriptor M (Normalizado Central)
- Suscriptor Estrella
- Control de Generación



## **2.4. Transformadores de distribución**

Los transformadores de distribución son los equipos encargados de "transformar" la tensión de corriente alterna que tiene a la entrada en otra diferente a la salida a un valor menor de tal manera que el usuario pueda utilizarla sin necesidad de equipos e instalaciones costosas y peligrosas. En otras palabras, el transformador de distribución es la liga entre los alimentadores primarios y los alimentadores secundarios.

La capacidad del transformador se selecciona en función de la magnitud de la carga, debiéndose tener especial cuidado en considerar los factores que influyen en ella, tales como el factor de demanda y el factor de coincidencia.

La Empresa Eléctrica suministrará e instalará sus transformadores en su sistema de distribución, para consumidores con una demanda de hasta 30 KW, siempre que no se encuentren ubicados en urbanizaciones o lotizaciones donde existan situaciones especiales. Si la demanda excede de 30 KW, el consumidor suministrará e instalará sus propios transformadores dentro de un cuarto habilitado para el efecto, cuya capacidad y tipo de conexión se especificará en el diagrama unifilar del proyecto eléctrico que se presentará a esta empresa para su aprobación.

Los transformadores instalados en las redes de distribución aéreas son monofásicos y se los encuentran en las siguientes marcas: Ecuatran, Westinghouse, General Electric, ABB, Cooper Power, Inatra. Cuando se requiera de transformadores monofásicos Padmounted se los puede

encontrar en las siguientes marcas: Kuhlman, Cooper Power, Central Molones, Inatra y en cuanto a transformadores trifásicos se tiene: ABB, General Electric, Moretran, Inatra, Cooper Power.

## Transformadores de cada Alimentadora

En las **Tablas 2.32 - 2.33 – 2.34** se presenta el número de transformadores de distribución monofásicos y trifásicos en cada una de las alimentadoras. Se indicara la capacidad, cantidad por alimentadora y se mostrará un diagrama de barras para observar la cantidad existente de transformadores por alimentadora.

### Alimentadora La Reforma

#### Transformadores Monofásicos y Trifásicos.

	Monofásicos	Trifásicos	Total
<b>Número</b>	293	8	301
<b>MVA</b>	11,163	1,35	12,513

Numero de Transformadores de la Alimentadora LA REFORMA  
Tabla 2.32

### Alimentadora Juján

#### Transformadores Monofásicos y Trifásicos.

	Monofásicos	Trifásicos	Total
<b>Número</b>	251	5	256
<b>MVA</b>	5,171	0,6	5,771

Numero de Transformadores de la Alimentadora JUJAN  
Tabla 2.33

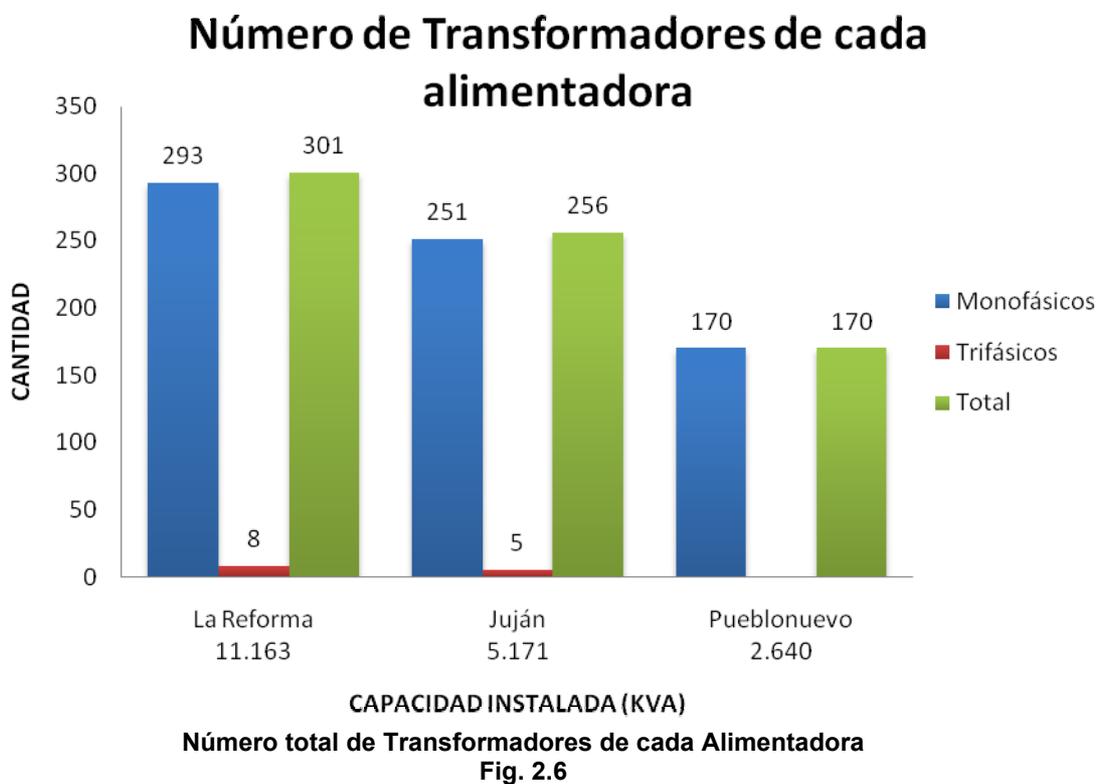
## Alimentadora Pueblonuevo

### Transformadores Monofásicos y Trifásicos.

	Monofásicos	Trifásicos	Total
<b>Número</b>	170	-	170
<b>MVA</b>	2,64	-	2,64

Numero de Transformadores de la Alimentadora PUEBLONUEVO  
Tabla 2.34

En la **Figura 2.6** se presenta una grafica la cual nos muestra el número total de transformadores de cada alimentadora, indicándonos que la reforma es la alimentadora es la que tiene más capacidad instalada; mientras que pueblo nuevo es de menor capacidad instalada.



## 2.5. Cargas

Ahora que ya se conoce de manera detallada los equipos y materiales eléctricos que conforman tanto la Subestación Centro Industrial como cada una de sus alimentadoras, se procederá a hacer el respectivo análisis de demanda.

Como consecuencia, podremos conocer de una forma más óptima el comportamiento que cada una de las alimentadoras presenta a la hora de querer efectuar cualquier tipo de transición, ya sea por transferencia o por algún mantenimiento preventivo o correctivo.

Adicionalmente este análisis será útil para efectuar los cálculos de caída de voltaje que se presentarán en el siguiente capítulo, puesto que es necesario conocer los valores típicos de máxima y mínima potencia.

### **CURVAS DE DEMANDA DIARIA**

Para obtener las curvas de demanda se realizará un análisis diario durante el año 2007 de cada una de las alimentadoras. Al final se procederá a obtener un solo promedio de estos días divididos en 2 grandes grupos que son:

**Días Laborales.-** Conformados por los días de la semana que comprenden el periodo de lunes a viernes.

**Días Semi-festivos y festivos.-** Conformados por los días sábado, domingos y feriados.

También se realizará un estudio anual durante los años 2004, 2005, 2006 y 2007, en donde se obtendrán los valores máximos y mínimos así como también el factor de carga de las alimentadoras.

### **Curva de Demanda Promedio de la alimentadora “LA REFORMA”**

#### DIAS LABORALES

Las típicas curvas de los días laborales en la alimentadora La Reforma empieza con una demanda de aproximadamente 2,5 MW a las 8am; presentando un aumento leve de 1 MW hasta las 2:00pm en donde comienza a disminuir hasta las 5:00pm en la cual comienza a incrementarse durante las siguientes 6 horas a un valor promedio de 4,5 MW. En la **Figura 2.7** se presenta este valor, que corresponde a su valor pico de demanda, se mantiene hasta las 9:00pm donde empieza a disminuir hasta llegar nuevamente a los 2,5 MW al final de la noche.



Curva de Demanda Promedio de los Días Laborables Alimentadora La Reforma  
Fig. 2.7

### DIAS SEMI-FESTIVOS Y FESTIVOS

En las Figuras 2.8 - 2.9 se presentan las curvas de demanda de los fines de semanas que son muy similares a la de los días laborales u ordinarios. El tipo de carga predominante en la alimentadora La Reforma es residencial aunque también existen zonas industriales y comerciales.



Curva de Demanda Promedio de los Días Sábados Alimentadora La Reforma  
Fig. 2.8



Curva de Demanda Promedio de los Días Domingos Alimentadora La Reforma  
Fig. 2.9

### Curva de Demanda Promedio de la alimentadora "JUAN"

#### DIAS LABORALES

En la **Figura 2.10** se presenta la curva típica de demanda para los días laborales en la alimentadora Juján.



**Curva de Demanda Promedio de los Días Laborables Alimentadora Juján  
Fig. 2.10**

La demanda al inicio del día (8am) es de 1,5MW llegando a los 3MW a las 7:00pm en la cual podemos notar en la gráfica que empieza a disminuir; permaneciendo así hasta las 23:00pm donde empieza a decrecer hasta una demanda de 1,5MW al final del día.

### **DÍAS SEMI-FESTIVOS Y FESTIVOS**

Como se puede apreciar la única diferencia entre la curva de demanda de los fines de semanas de las alimentadoras La Reforma y Juján, radica en el valor pico de demanda. En los fines de semana la alimentadora Juján alcanza una demanda máxima con valores cercanos a los 3 MW mientras que los fines de semana la alimentadora La Reforma se encuentran con una demanda máxima que oscila entre 3 y 4,5 MW.



Curva de Demanda Promedio de los Días Sábados Alimentadora Juján  
Fig. 2.11



Curva de Demanda Promedio de los Días Domingos Alimentadora Juján  
Fig. 2.12

El tipo de carga en la alimentadora Juján es residencial, comercial e industrial.

### Curva de Demanda Promedio de la alimentadora “PUEBLO NUEVO”

#### DIAS LABORALES

Las típicas curvas de los días laborales en la alimentadora Pueblo Nuevo empiezan a las 8:00am con una demanda aproximada de 0,5 MW. Como podemos observar en la grafica la demanda se mantiene entre los 0,50 y 0,7 MW a lo largo del día obteniendo una demanda máxima de 0,68 MW a las 7:00pm.



Curva de Demanda Promedio de los Días Laborables Alimentadora Pueblonuevo  
Fig. 2.13

### DIAS SEMI-FESTIVOS Y FESTIVOS

A diferencia de las alimentadoras anteriores, las curvas de demanda de los fines de semana son muy parecidas a la curva de demanda de los días laborables ya que la demanda se mantiene en el mismo rango antes mencionado con un leve aumento y disminución de carga.

Como se puede apreciar en las Figuras 2.14 y 2.15 mostradas a continuación, la demanda a las 8:00am empieza con una demanda 0,5 MW donde disminuye y aumenta levemente hasta llegar a 0,7 MW que es su valor máximo aproximado.



Curva de Demanda Promedio de los Días Laborables Alimentadora La Reforma  
Fig. 2.14



Curva de Demanda Promedio de los Días Laborables Alimentadora La Reforma  
Fig. 2.15

El tipo de carga predominante en la alimentadora Pueblonuevo es residencial con sectores rurales, aunque también existen pequeñas zonas industriales y comerciales.

## ANÁLISIS ANUAL

Es imprescindible conocer las características de las curvas de demanda diaria en cada una de las alimentadoras analizadas, sin embargo, ciertos valores máximos de potencia pudieron ser omitidas debido a los valores promedios y aproximados que se obtuvo en cada alimentador.

Para obtener una mejor idea acerca de los valores máximos y mínimos de cada una de las alimentadoras se procederá a hacer un análisis anual durante los años 2003, 2004, 2005 y 2006.

### Alimentadora La Reforma

En la Tabla 2.35 muestra el análisis de demanda durante 4 de la alimentadora La Reforma la cual tiene una demanda máxima de 4,55 MW y una demanda mínima de 1,14 MW. Su demanda media es 2,61 MW

POTENCIA (MW)/ AÑO	2004	2005	2006	2007
<b>MÁXIMA</b>	3,41	2,9	4,4	4,55
<b>MÍNIMA</b>	1,14	1,21	1,9	1,4

Potencia Máxima y Mínima de la Alimentadora La Reforma  
Tabla 2.35

### Alimentadora Juján

La alimentadora Juján muestra una demanda máxima de 3,5 MW y una demanda mínima de 0,17 MW. Su demanda media es 1,84MW presentando así un factor de carga de 0,52.

En la [Tabla 2.36](#), se presentan los valores analizados para sus respectivos años.

POTENCIA (MW)/ AÑO	2004	2005	2006	2007
<b>MÁXIMA</b>	2,8	3,38	2,9	3,5
<b>MÍNIMA</b>	0,9	0,17	0,75	0,29

Potencia Máxima y Mínima de la Alimentadora Juján  
Tabla 2.36

### **Alimentadora Pueblonuevo**

Como anteriormente indicamos para el análisis realizado utilizamos 4 años por lo que en la **Tabla 2.37** se indica que la alimentadora Pueblonuevo muestra una demanda máxima de 1,9 MW y una demanda mínima de 0,17 MW. Su demanda media es 0,96 MW presentando así un factor de carga de 0,51.

<b>POTENCIA (MW)/ AÑO</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
<b>MÁXIMA</b>	1,9	1,6	1,45	0,74
<b>MÍNIMA</b>	0,8	0,17	0,75	0,29

**Potencia Máxima y Mínima de la Alimentadora Pueblo Nuevo**  
**Tabla 2.37**

**CAPÍTULO 3. Análisis del Sistema  
Eléctrico Actual de la Subestación  
Centro Industrial CNEC Los Ríos**

## **3.1. Calculo de Voltaje**

### **3.1.1. Análisis de Variación de Voltaje**

En el presente sub-capítulo se explicará en principio el método para el cálculo de variación de voltaje en una alimentadora y finalmente se mostrará los valores de variación de voltaje de las 3 alimentadoras de la subestación Centro Industrial.

El cálculo de la variación de voltaje a lo largo de un alimentador se realiza con el objeto de obtener el voltaje que llega al consumidor, también se obtiene las corrientes de carga en cada uno de los ramales del alimentador, las mismas que se utilizan para realizar la coordinación de los equipos de protección.

#### **Método de Porcentaje de impedancia**

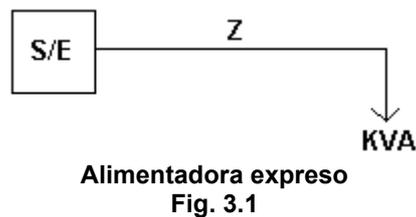
El método de porcentaje de impedancia es un método aproximado para el cálculo de caída de potencial en una alimentadora. A diferencia del método de la escalera, que es más exacto, el método de porcentaje de impedancia permite obtener el voltaje en cualquier punto, así sea el último transformador que se encuentra en el último ramal.

El método consiste de dos puntos básicos:

- Acumulación de toda la carga aguas abajo del punto en análisis
- Aplicación de la fórmula de alimentadora expresa con un artificio matemático

Estos dos puntos esenciales se los explicará a continuación:

En el método de porcentaje de impedancia se aplica básicamente el criterio de la alimentadora expreso, pero como las alimentadoras en estudio no son de ese tipo ya que la carga se encuentra distribuida a lo largo de la troncal con sus ramales, necesariamente se tiene que simular acumulando la carga en el punto que se va a hacer el análisis de voltaje.



En la ilustración de arriba se puede observar una alimentadora expreso. Como se puede ver, la misma provee sólo las necesidades de una carga. En esta alimentadora se conoce el voltaje de la subestación.

Se tiene lo siguiente:

Fórmula expresada en voltios

$$CV = \frac{KVA \cdot Z}{KV}$$

**Ecuación 1**

Fórmula expresada en porcentaje

$$CV\% = \frac{KVA \cdot Z}{1000 \cdot KV^2} \cdot 100\%$$

**Ecuación 2**

Donde:

CV: Caída de Voltaje

KVA: KVA de Carga

Z: Impedancia de línea

KV: KV nominal

Este análisis se lo hace a alimentadoras expreso de ahí la necesidad de simular acumulando la carga aguas abajo del punto de análisis.

Ahora lo que se necesita a parte del porcentaje de caída, es el valor de voltaje en el punto de análisis. Esto se lo obtiene de la siguiente manera:

$$V\% = V\%_{\text{punto-anterior}} - CV\%$$

**Ecuación 3**

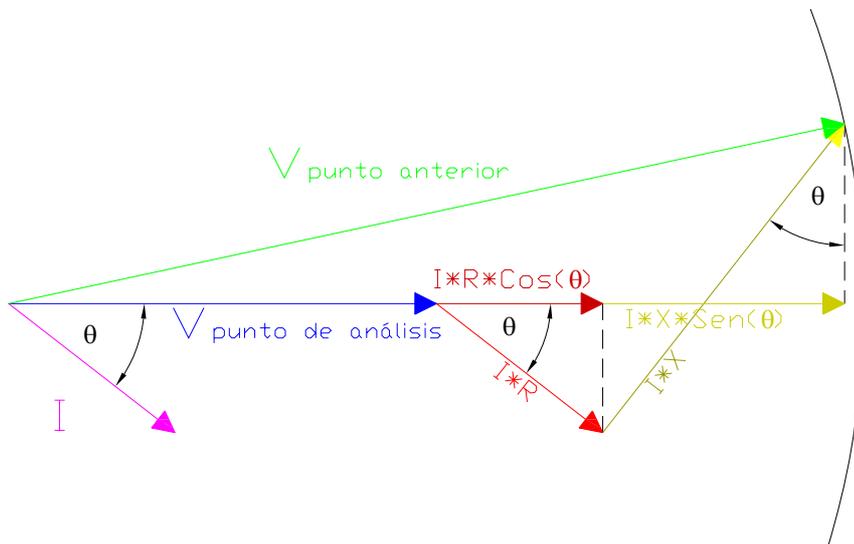
Donde:

V%: Voltaje en el punto de análisis en porcentaje

$V\%_{\text{punto-anterior}}$ : Voltaje del punto anterior (aguas arriba) al punto de análisis en %

Se puede notar que  $V\%_{\text{punto-anterior}}$  y  $CV\%$  tienen ángulos que no son iguales, por lo tanto se tendría que hacer una resta fasorial, de ahí la necesidad de un artificio para simplificar el cálculo.

El artificio consiste de lo siguiente:



**Artificio del Método Caída de Voltaje**  
**Fig. 3.2**

Nótese que en la ilustración anterior, el voltaje en el punto de análisis es igual a la resta fasorial del voltaje en el punto anterior menos la caída de voltaje expresada en el gráfico como una componente resistiva y reactiva.

Si se proyecta estas dos componentes de caída de voltaje sobre la línea imaginaria que tiene la misma dirección del voltaje del punto de análisis, tal como se muestra en la **Figura 3.2**, se suma escalarmente esas dos proyecciones al voltaje del punto de análisis, se obtendría aproximadamente la magnitud del voltaje del punto anterior. Cabe recalcar que no es exactamente ese valor pero como las caídas de voltaje son pequeñísimas en comparación con los voltajes de dos puntos cercanos de la línea, se puede tomar como válido el método.

Entonces nuestra fórmula queda como sigue:

$$V\%_{\text{punto-de-análisis}} = V\%_{\text{punto-anterior}} - \frac{KVA_{1\Phi}}{1000KV_{L-N}^2} [R \cdot \text{Cos } \theta + X \cdot \text{Sen } \theta]$$

En los anexos se muestra un ejemplo del método de porcentaje de impedancia. El anexo tiene el nombre “Ejemplo de Cálculo de Voltaje de una alimentadora usando el método de porcentaje de impedancia”

**Anexo E.**

### 3.1.2. Variación de voltaje de las 3 alimentadoras de la Subestación

La localización de los puntos de las 3 alimentadoras de la subestación Centro Industrial en donde se efectuó el estudio completo de voltaje se muestra en planos y los valores de voltaje en esos puntos se los muestran en tablas, toda esta información se la adjunta en el **Anexo E**.

Para el cálculo de voltaje usando el método de porcentaje de impedancia y en general para cualquier método, se necesita conocer el factor de potencia de las cargas y el porcentaje de utilización de cada transformador, para eso se realizó el siguiente procedimiento:

1. Obtener los datos históricos de demanda.
2. Obtener los días donde ocurrieron máxima y mínima carga.
3. De esos días obtener los datos de voltaje, corriente y factor de potencia por fase.
4. Obtener el KVA de cada fase multiplicando voltaje por corriente.  
También determinar potencia activa y reactiva
5. El factor de potencia obtenido de los datos históricos no es el factor de potencia de las cargas ya que en la alimentadora influye el banco de capacitores. De los KVAR obtenidos en el literal 4 restar los KVAR del banco de capacitores y ese será los KVAR de la carga
6. Una vez obtenido los KVAR de carga y los KW obtenidos en el literal 4 proceda a hallar el factor de potencia de las cargas.

$$FP = \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{KVAR}{KW}\right)\right)$$

7. Para el porcentaje de utilización del transformador, calculo los KVA de carga por fase usando la relación  $\sqrt{KW^2 + KVAR^2}$  donde los KW se lo obtiene del literal 4 y los KVAR del literal 5. Luego divido ese valor para la carga instalada en esa fase y listo ya tenemos el porcentaje de utilización del transformador (en promedio).

A continuación se mostrará el resumen de estudio de voltaje realizado a cada alimentadora. Se tomará en cuenta en este resumen el valor de voltaje máximo a lo largo de la alimentadora expresado en voltios y en porcentaje con respecto a 7620[V] para un estudio de máxima carga.

En la **Tabla 3.1** indica que La Norma 004-01 “Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución” expresa que las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal son las siguientes:

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

**Límites permitidos de Voltaje en porcentaje del valor nominal**  
**Tabla 3.1**

## Alimentadora La Reforma

### Máxima Carga

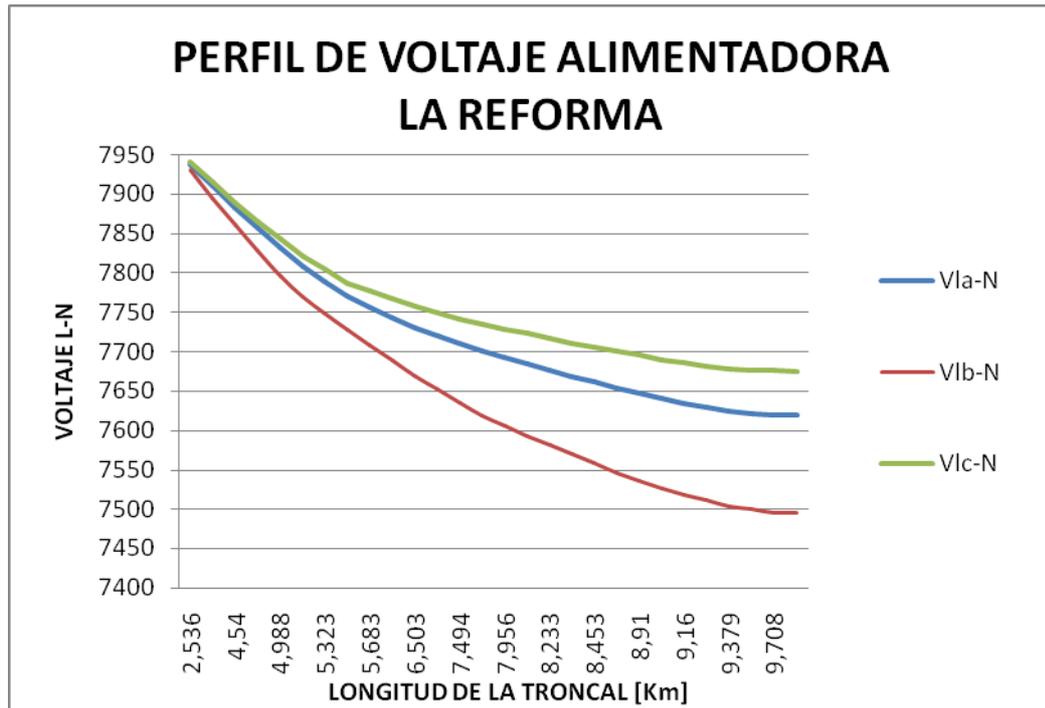
	%Va	%Vb	%Vc	Va [V]	Vb [V]	Vc [V]
Máximo	104,2%	104,07%	104,2%	7938,44	7930,77	7940,76
Mínimo	99,99%	98,36%	100,7%	7619,13	7494,78	7675,5
CV	4,21%	5,71%	3,5%	319,31	435,22	265,26

**Voltaje en porcentaje para Máxima carga Alimentadora La Reforma  
Tabla 3.2**

En la **Tabla 3.2**, se observa que la máxima caída de potencial en máxima carga es de 5,71% que equivale a 435,22[V]. La regulación de voltaje es buena porque la caída de los voltajes se mantiene dentro del rango aceptable.

### Perfil de Voltaje para máxima Carga

El perfil de voltaje de la troncal principal de la Alimentadora La Reforma, para una carga máxima expresada en el 67,4% para la fase A, 52,7% para la fase B y 66,3% para la fase C de la capacidad total instalada en cada fase y un factor de potencia de 0,957 respectivamente, se muestra a continuación.



**Perfil de Voltaje de la Troncal de la Alimentadora La Reforma  
Fig. 3.3**

Nótese en esta figura, que las cargas no están balanceadas desde el arranque de la alimentadora, si lo estuvieran tendrían que converger en el mismo punto. Como se mencionó antes el máximo porcentaje de caída de voltaje entre el arranque de la alimentadora y el punto más distante, que generalmente es la terminación de un ramal, es de 5,71% para máxima carga, por lo tanto en la troncal ese porcentaje deberá ser menor.

## **Alimentadora Juján**

### **Máxima Carga**

En la [Tabla 3.3](#), se presentan los valores de voltaje correspondiente a máxima carga.

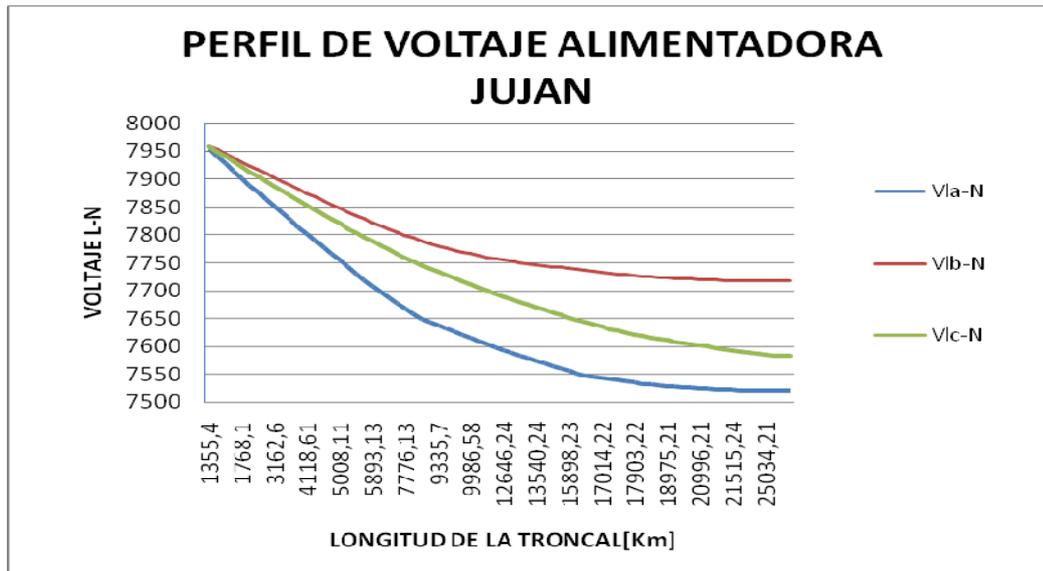
	%Va	%Vb	%Vc	Va [V]	Vb [V]	Vc [V]
Máximo	104,38%	104,46%	104,44%	7953,95	7960,05	7958,40
Mínimo	98,69%	101,28%	99,50%	7520,82	7717,81	7582,23
CV	5,69%	3,18%	4,94%	433,13	242,24	376,17

**Voltaje en porcentaje para Máxima carga Alimentadora Juján**  
**Tabla 3.3**

Como se puede ver en la **Tabla 3.3**, la máxima caída de potencial en máxima carga es de 5,69% que equivale a 433,13[V]; vemos que la regulación de voltaje es aceptable porque los voltajes se mantienen dentro del rango permitido.

### **Perfil de Voltaje para máxima Carga**

En la **Figura 3.4** se presenta el perfil de voltaje de la troncal principal de la Alimentadora Juján, para una carga máxima expresada en el 29,8% para la fase A, 32,86% para la fase B y 24,28% para la fase C de la capacidad total instalada en cada fase y un factor de potencia de 0,864 respectivamente.



**Perfil de Voltaje de la Troncal de la Alimentadora Juján  
Fig. 3.4**

Nótese en esta figura que las cargas no están balanceadas desde el arranque de la alimentadora, si lo estuvieran tendrían que converger en el mismo punto.

A pesar de que la diferencia de voltajes entre la subestación y el punto más distante, eléctricamente hablando, es pequeña, se puede observar niveles de voltaje elevado. Esto se debe al alto voltaje de alimentación que proviene del sistema nacional interconectado. Como solución la empresa eléctrica deberá colocar un regulador de voltaje en la subestación de tal modo que el usuario tenga un valor de voltaje de 1.08 por unidad.

Como se mencionó antes el máximo porcentaje de caída de voltaje entre el arranque de la alimentadora y el punto más distante, que generalmente es la terminación de un ramal, es de 5,69% para máxima carga, por lo tanto en la troncal ese porcentaje deberá ser menor.

## Alimentadora Pueblo Nuevo

### Máxima Carga

	%Va	%Vb	%Vc	Va [V]	Vb [V]	Vc [V]
Máximo	104,4%	104,42%	104,45%	7955,25	7956,78	7959,04
Mínimo	101,15%	101,73%	101,7%	7707,3	7751,97	7750,3
CV	3,25%	2,69%	2,75%	247,95	204,81	208,74

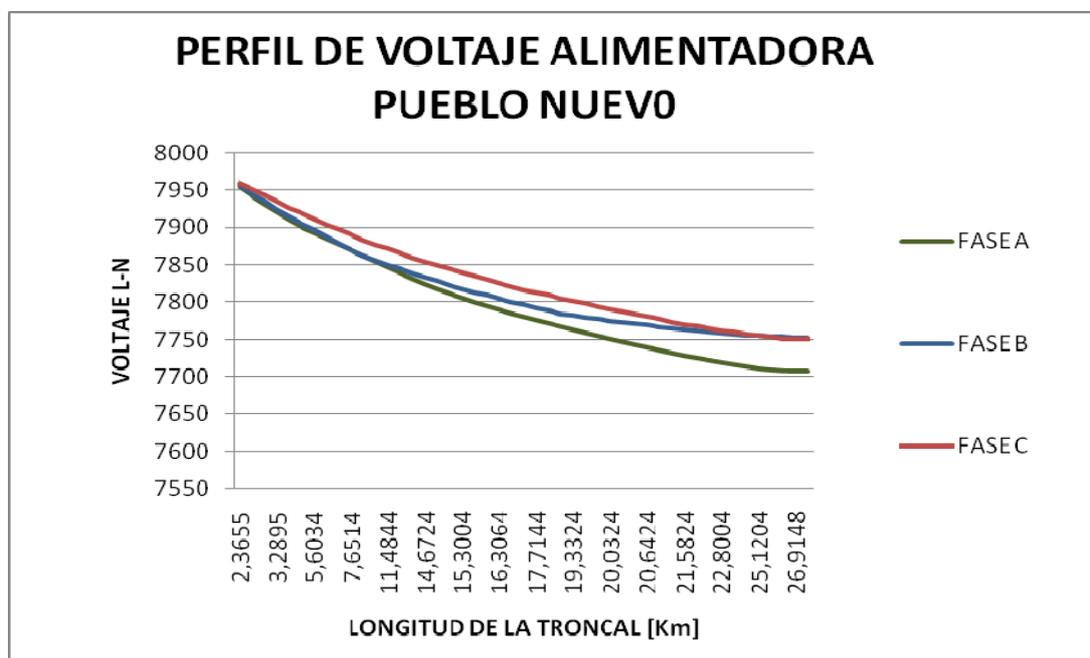
**Voltaje en porcentaje para Máxima carga Alimentadora Pueblo Nuevo**  
**Tabla 3.4**

Como se puede ver en la **Tabla 3.4**, la máxima caída de potencial en máxima carga es de 3,25% que equivale a 247,95[V]; vemos que la regulación de voltaje es aceptable porque los voltajes se mantienen dentro del rango permitido.

También se puede observar que la caída de voltaje para máxima carga es menor en comparación con las alimentadoras anteriormente analizadas, esto se debe que la alimentadora Pueblo Nuevo posee ramales cortos y de baja impedancia es decir de un calibre de conductor más grueso.

### Perfil de Voltaje para máxima Carga

En la **Figura 3.5** se presenta el perfil de voltaje de la troncal principal de la Alimentadora Pueblo Nuevo, para una carga máxima expresada en el 69,22% para la fase A, 65,59% para la fase B y 47,47% para la fase C de la capacidad total instalada en cada fase y un factor de potencia de 0,849 respectivamente, se muestra a continuación.



**Perfil de Voltaje de la Troncal de la Alimentadora Pueblo Nuevo  
Fig. 3.5**

Nótese en esta figura que las fases B y C están balanceadas mientras que la B no; esto es común ya que se acostumbra tomar alimentación de transformadores monofásicos de la línea más cercana a la vereda, la fase B siempre está en la mitad. Pero aquí encontramos la particularidad que las fases estaban cambiadas encontrándose la fase A en la mitad por esta razón se da el balance de la fase B y C.

Como se mencionó antes el máximo porcentaje de caída de voltaje entre el arranque de la alimentadora y el punto más distante, que generalmente es la terminación de un ramal, es de 3,25% para máxima carga, por lo tanto en la troncal ese porcentaje deberá ser menor.

### 3.2. Balance de las Alimentadoras

Es de vital importancia mantener balanceadas las fases en el arranque de las alimentadoras puesto que todos los análisis y conceptos utilizados se basan en tener un sistema equilibrado y balanceado (método por fase), caso contrario, los valores obtenidos en el estudio de cortocircuito no reflejarían datos cercanos a la realidad y sería perjudicial para los ajustes de los sistemas de protección en las líneas de transmisión y al mismo sistema en general.

Además los sistemas de distribución con cargas desequilibradas tienen un costo operativo mayor. Este desequilibrio incrementa las pérdidas de potencia en el sistema con respecto al mismo que tiene cargas balanceadas.

Transferir la carga de una fase a otra no se puede realizar en forma continua, por lo que este problema debe tratarse como un problema de programación.

El objetivo fundamental es minimizar el grado de desbalance del sistema. Para ello se utiliza un índice de desbalance por corrientes que se muestra a continuación:

$$d = \frac{\max\left(\left\{|I_a - I_{prom}|, |I_b - I_{prom}|, |I_c - I_{prom}|\right\}\right)}{I_{prom}} \cdot 100\% \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$$I_{prom} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \quad \text{Ecuación 5}$$

En condiciones balanceadas, el sistema transporta la misma cantidad de corriente por las tres fases por lo que el índice “d” debe reportar un valor cero indicando que no existe desbalance.

Sin embargo, no se puede tener un índice tan perfecto; además tratar de coordinar las cargas para conseguir un sistema perfectamente balanceado sería perder el tiempo, es por esta razón, que se considera un margen del 10% para los sistemas de distribución. (Según el artículo 31 de la resolución CNEE-50-99 de la comisión nacional de energía eléctrica de Guatemala).

Se considera que un Participante afecta la calidad del servicio de energía eléctrica cuando en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento del correspondiente al total del Período de Medición, las mediciones muestran que el Desbalance de la Corriente ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

Cabe recalcar que el desbalance de corriente se lo obtiene en operación normal del sistema, por lo que no se tomará en cuenta bajo condiciones de fallas.

La **Tabla 3.5** presenta las corrientes medidas en cada una de las fases de las alimentadoras y su promedio.

Alimentadora	La Reforma	Juján	Pueblo Nuevo
Fase	(A)	(A)	(A)
A	204,42	77,1	54,9
B	244,38	76,02	47,34
C	189,3	90,02	37,68
Promedio	212,7	81,05	46,64

Corrientes por Fases de las Alimentadoras  
Tabla 3.5

Considerando un rango de  $\pm 10\%$ , podemos notar en la **Tabla 3.5** que la alimentadora La Reforma varía en un  $\pm 21,3$  A, Juján en un  $\pm 8,105$  A, y la alimentadora Pueblo Nuevo en un  $\pm 4,664$  A.

Alimentadora	La Reforma	Juján	Pueblo Nuevo
Fase	(%)	(%)	(%)
A	-3,89	-4,87	17,7
B	14,89	-6,206	1,5
C	-11,001	11,067	-19,21

Porcentaje de desbalance por fase en las alimentadoras  
Tabla 3.6

La **Tabla 3.6**, presenta los porcentajes de desbalance de las fases de las alimentadoras de acuerdo a los valores de la **Tabla 3.5**, la alimentadora La reforma presenta un desbalance de 4,89% en la fase B y -1,001% en la fase C, la alimentadora Juján tiene un pequeño desbalance en la fase C de 1,067%, y por último la alimentadora Pueblo Nuevo tiene un desbalance de 7,7% en la fase A y -9,21% en la fase C.

## Factor de Utilización

El factor de utilización de un sistema, es la relación entre la demanda máxima y la capacidad nominal del sistema. El factor de utilización establece que porcentaje de la capacidad del sistema está siendo utilizado durante el pico de carga.

La Empresa Eléctrica CNEL S.A. calcula la demanda máxima de todo el sistema y no de cada subestación. En la **Tabla 3.7** vemos que otra forma de calcular el factor de utilización es multiplicando el voltaje (KV), por el valor de la corriente (A); así obtendríamos un valor aproximado de los KVA promedios demandados en el periodo de máxima carga.

	La reforma			Juján			Pueblo Nuevo		
	Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C
V prom. (KV)	7,43568	7,53683	7,46081	7,41881	7,53389	7,43764	7,43414	7,53501	7,4543
I prom. (Amp)	204,42	244,38	189,3	77,1	76,02	90,06	54,9	47,34	37,68
Cap. Nom. (KVA)	2064	3209	1951	1431	1301	2059	425	392	426,5
F. Utilización (%)	73,64	57,4	72,39	39,97	44,02	32,53	96,03	90,997	65,86

**Calculo del Factor de utilización por fase en las alimentadoras**  
**Tabla 3.7**

Fase	La Reforma		Juján		Pueblo Nuevo	
	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)
<b>A</b>	204,42	73,64	77,1	39,97	54,9	96,03
<b>B</b>	244,38	57,4	76,02	44,02	47,34	90,997
<b>C</b>	189,3	72,39	90,02	32,53	37,68	65,86

**Factor de Utilización de las alimentadoras para máx. Carga**  
**Tabla 3.8**

La **Tabla 3.8** muestra el factor de utilización en porcentajes de cada una de las fases de las alimentadoras, para condiciones de máxima carga.

Al comparar estas corrientes con las corrientes del límite térmico para condiciones climáticas sin viento y con sol obtenemos el factor de utilización de las alimentadoras.

Para condiciones de máxima carga la alimentadora Pueblo Nuevo presenta el mayor factor de utilización en la fase A con 96,03%, y la alimentadora Juján presenta el menor factor de utilización en la fase C, con 32,53%.

Con el propósito de analizar que tan cargadas están las alimentadoras, una respecto a la otra, llamaremos densidad de carga, al factor que relaciona la carga instalada en MVA con los Kilómetros de ramales trifásicos de cada una de las alimentadoras. La densidad de carga, suele ser puesta en términos de kVA por 1000 pies, o kVA por millas cuadradas. Sin embargo, al no disponer del área de cobertura de cada una de las alimentadoras, sino solo de la distancia de cada ramal trifásico, se limitó el cálculo de la densidad a los kilómetros que posee cada una de las alimentadoras.

La **Tabla 3.9**, presenta las densidades de carga, las mismas que ayudan a diferenciar las zonas urbanas de las zonas rurales, debido a que mientras más alto sea la densidad, se tiene mayor concentración de consumidores en una determinada zona, cabe resaltar que la alimentadora La Reforma, a pesar de ser tipo Rural/ Urbano, tiene una densidad de 0,20 MVA/ km, que es la más alta de todas.

<b>Nombre de la Alimentadora</b>	<b>Densidad MVA/ Km.</b>
La Reforma	0,20
Juján	0,18
Pueblonuevo	0,03

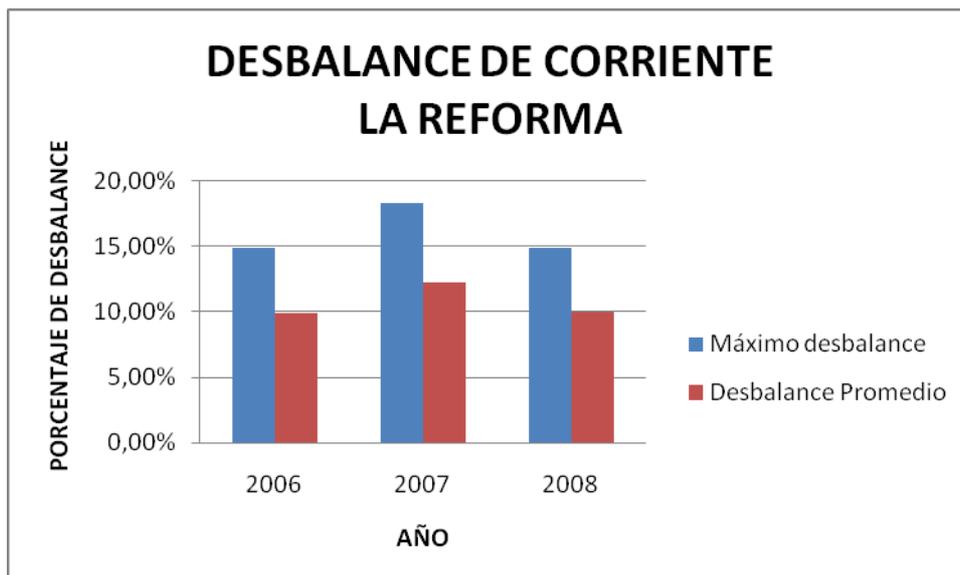
**Densidad de carga de las Alimentadoras**  
**Tabla 3.9**

Esta información puede ser utilizada cuando se necesite liberar carga, o en el caso de reparaciones, ya que se puede dar preferencias a zonas con mayor densidad de carga, afectando a la menor cantidad de usuarios.

A continuación se realizará un análisis considerando el índice promedio de desbalance y el máximo porcentaje de desbalance para cada una de las 3 alimentadoras estudiadas durante todos los meses desde el año 2006 hasta junio del 2008. Finalmente, se obtendrá el valor promedio total para el índice “d” y los valores máximos de cada año por alimentadora.

### **Alimentadora La Reforma**

La **Figura 3.6** se muestra la ilustración de los desbalances máximos y desbalances promedios de los años 2006, 2007, y parte del 2008 en la alimentadora La Reforma.



**Desbalance de Corriente de la Alimentadora La Reforma  
Fig. 3.6**

La **Tabla 3.10**, presenta el máximo desbalance obtenido en los 3 años analizados que es del 18,27%

<b>Año</b>	<b>Porcentaje de Desbalance</b>	
	Máximo desbalance	Desbalance Promedio
2006	14,86%	9,90%
2007	18,27%	12,18%
2008	14,87%	9,92%

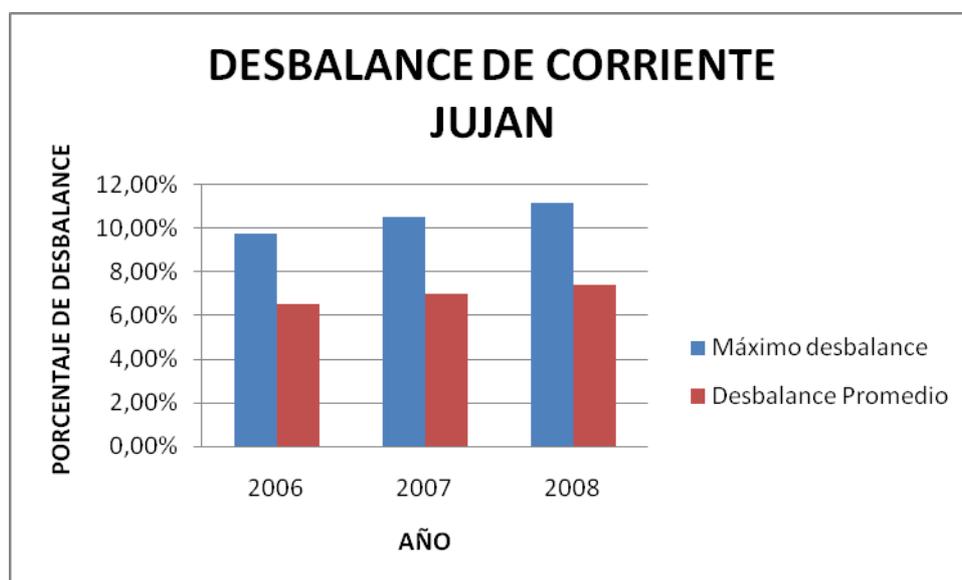
**Porcentaje de Desbalance de la Alimentadora La Reforma  
Tabla 3.10**

El máximo desbalance promedio de corriente de la alimentadora La Reforma es de aproximadamente 12,18%.

En la siguiente distribución de datos de desbalance de corriente del año 2007, muestra que en ese año ocurrió el máximo desbalance en la fase B con el 8,27% el cual se encuentra fuera de los límites establecidos. Por lo tanto, la alimentadora La Reforma no se encuentra balanceada en los 3 años de análisis.

### Alimentadora Juján

La **Figura 3.7** presenta la gráfica de los desbalances máximos y desbalances promedios de los años 2006, 2007, y parte del 2008 en la alimentadora Juján.



Desbalance de Corriente de la Alimentadora Juján  
Fig. 3.7

La **Tabla 3.11** presenta el máximo desbalance obtenido en los 3 años analizados que es del 11,1%.

<b>Porcentaje de Desbalance</b>		
<b>Año</b>	Máximo desbalance	Desbalance Promedio
2006	9,70%	6,47%
2007	10,46%	6,98%
2008	11,10%	7,40%

**Porcentaje de Desbalance de la Alimentadora Juján**  
**Tabla 3.11**

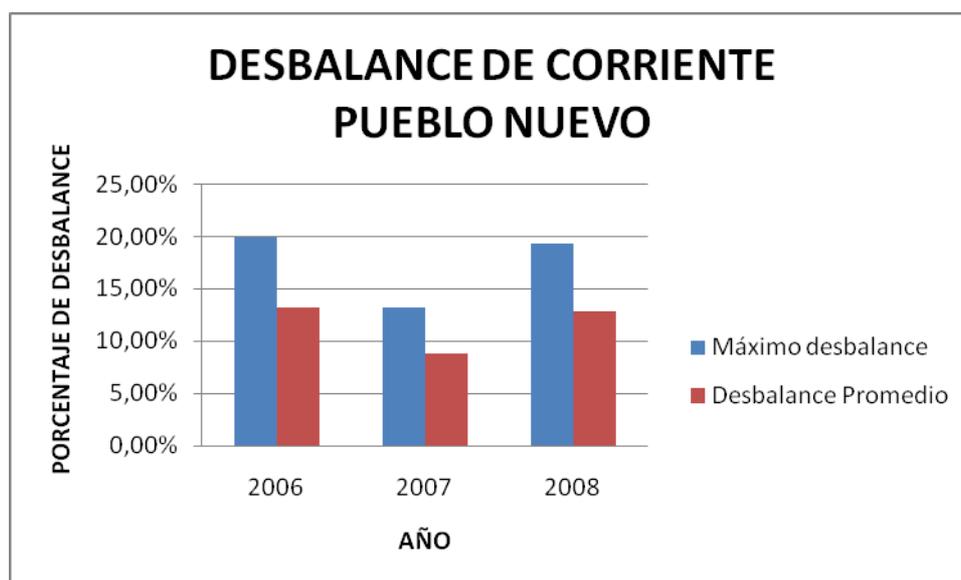
El desbalance promedio de corriente de la alimentadora Juján es de aproximadamente 7,40%.

En la siguiente distribución de datos de desbalance de corriente del año 2008, muestra que en ese año ocurrió el máximo desbalance en la fase C con el 1,1% el cual se encuentra fuera de los límites establecidos. Pero en el año 2006 podemos notar que la alimentadora se mantuvo dentro de los rangos permitidos dando como resultado un balance de la misma.

En general, actualmente la alimentadora Juján no se encuentra balanceada en los 2 últimos años de análisis.

## Alimentadora Pueblo Nuevo

La **Figura 3.8** presenta la gráfica de los desbalances máximos y desbalances promedios de los años 2006, 2007, y parte del 2008 en la alimentadora Pueblo Nuevo.



Desbalance de Corriente de la Alimentadora Pueblo Nuevo  
Fig. 3.8

La **Tabla 3.12**, presenta el máximo desbalance obtenido en los 3 años analizados que es del 19,85%.

Año	Porcentaje de Desbalance	
	Máximo desbalance	Desbalance Promedio
2006	19,85%	13,23%
2007	13,20%	8,80%
2008	19,21%	12,81%

Porcentaje de Desbalance de la Alimentadora Pueblo Nuevo  
Tabla 3.12

El desbalance promedio de corriente de la alimentadora Satirión es de aproximadamente 13,23%.

Pueblo Nuevo es una de las alimentadoras más desbalanceadas que posee la Subestación Centro Industrial. Su complejidad a la hora de resolver este problema, es debido a que sus ramales son mayormente trifásicos. Por lo que se recomienda cambiar de fase a ciertos transformadores con el fin de obtener el equilibrio deseado.

### **3.3. Sistema de Protecciones**

Los equipos de protección, tienen como finalidad asegurar, proteger y mantener la continuidad del servicio eléctrico, y por ende la calidad del mismo. Para el mejor funcionamiento de un sistema de distribución se deben de tomar en cuenta muchos factores entre estos económicos, ambientales, y técnicos. Un buen diseño de un sistema de protecciones deberá tener una adecuada operación de las protecciones durante las diferentes perturbaciones a las que este pueda ser expuesto, entre estas perturbaciones se puede tener las fallas de línea, sobrecargas del sistema, y fallas de equipos, además de las descargas atmosféricas y las interferencias de humanos y animales.

Para el diseño es importante conocer el comportamiento de las posibles corrientes para poder seleccionar y calibrar adecuadamente los equipos de protección de sobrecorriente del sistema de distribución.

La selección y coordinación de los equipos de protección por parte del ingeniero de diseño determinara la eficiencia y calidad del servicio eléctrico por parte de la empresa distribuidora de energía eléctrica. La empresa eléctrica CNEL S.A. tiene actualmente en la Subestación Centro Industrial el siguiente sistema de protección que se muestra en la **Figura 3.9**.

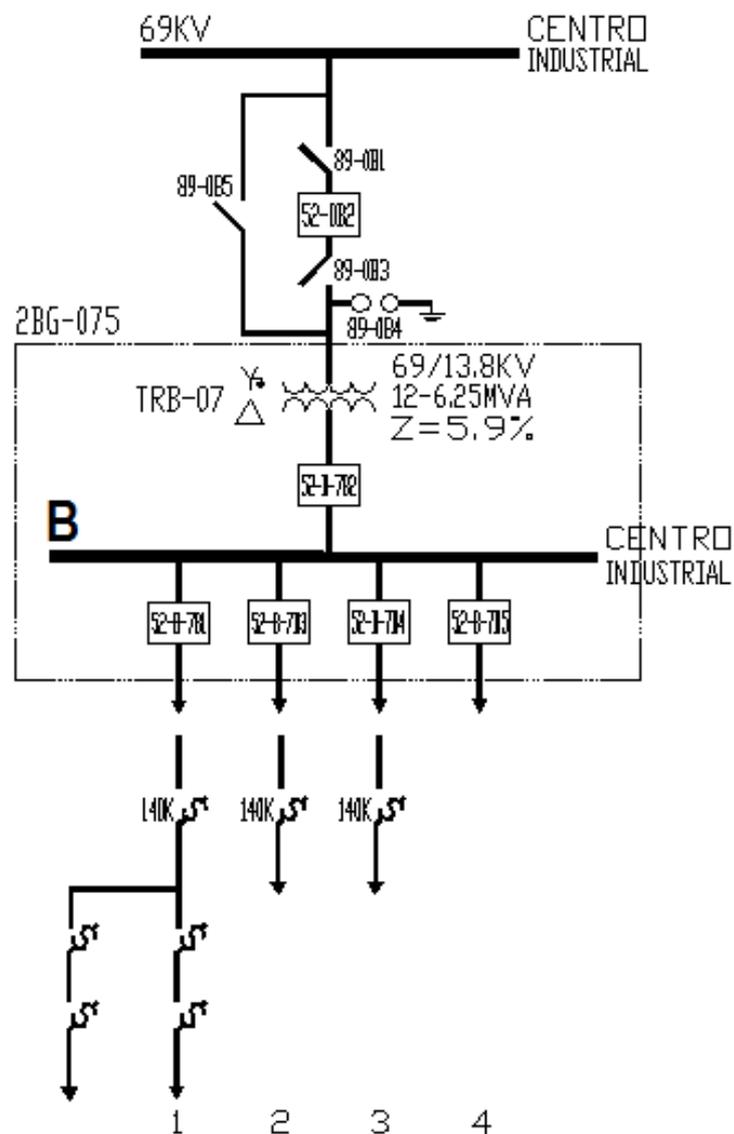


Diagrama Unifilar de Protecciones de la S/E Centro Industrial  
Fig. 3.9

## Descripción del Sistema de Protecciones de la S/E Centro Industrial

La **Tabla 3.13**, presentan los equipos de protección de la subestación Centro Industrial y de cada alimentador. Podemos notar que cada alimentadora cuenta con su protección de Sobrecorriente y un reconectador a la salida de cada una.

Equipos de Protección		S/E
Relé de Protección	Sobrecorriente fase IAC 53A104A	3
	Sobrecorriente Tierra IAC 53B10A	3
	Frecuencia IB7417-5	1
Interruptores Tripolar	TIPO VAC-25,8-12,52	3
Reconectores	TIPO RX	3

**Equipos de Protección S/E Centro Industrial**  
**Tabla 3.13**

## Curvas de Coordinación de los Equipos de Protección

Los relés son dispositivos que sirven para sentir o detectar las condiciones de operación de la red y ordenar el cierre o apertura de los interruptores. La señal que reciben los relés es mediante los transformadores de corriente (CT).

## **Análisis del Sistema considerando una impedancia de falla de $Z_f=0\Omega$**

### **Alimentador La Reforma**

La alimentadora La Reforma está protegido por un reconectador que al detectar una condición de Sobrecorriente interrumpe el flujo, una vez que ha transcurrido un tiempo determinado cierra sus contactos nuevamente, energizando el circuito protegido. Si la condición de falla sigue presente, el reconectador repite la secuencia de cierre-apertura un número determinado de veces (por lo general son 4 como máximo). Después de la cuarta operación de apertura queda en posición abierto definitivamente.

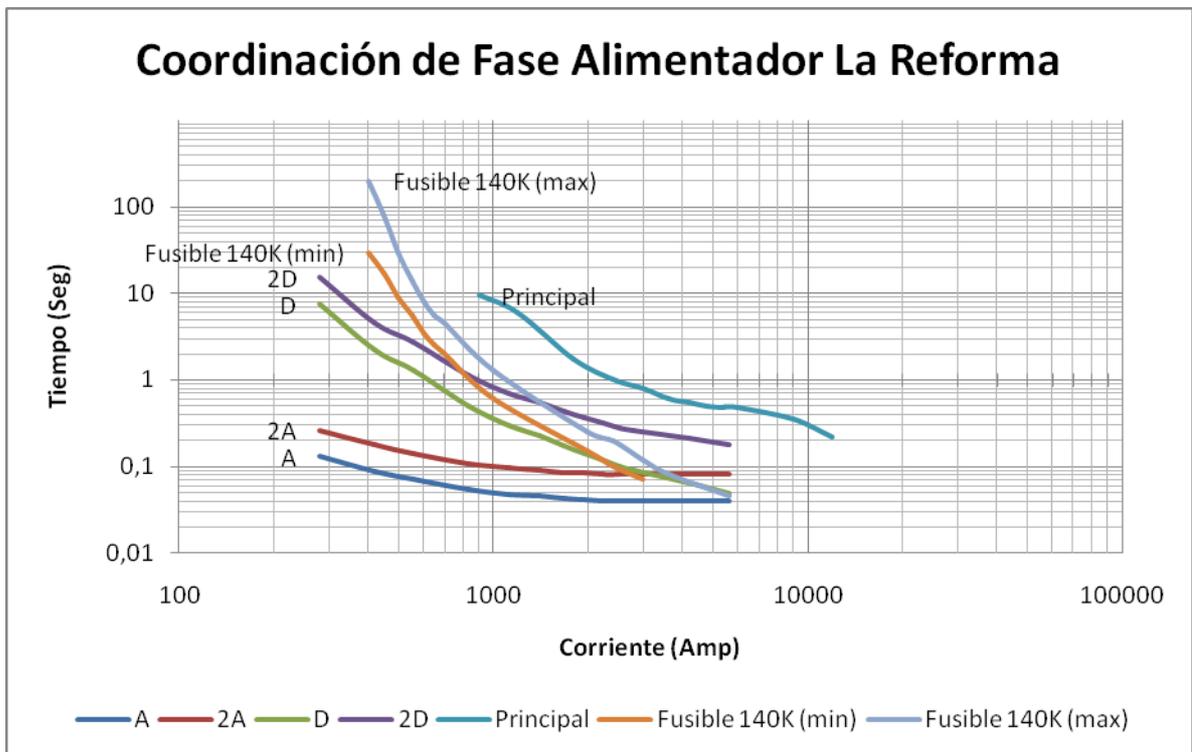
En la **Tabla 3.14** notamos que el reconectador tiene dos curvas rápidas y dos curvas lentas (2A - 2D) respectivamente.

El ajuste de la bobina de disparo es 140 Amp y la corriente mínima de operación es 280 Amp.

El disyuntor principal tiene transformadores de corriente cuya relación es  $N=600/5$  y el ajuste del relé son TAP: 5 y TD: 3.

TAP	RECONECTADOR (RX)					ALIMENTADOR PRINCIPAL		FUSIBLE 140K (mínimo tiempo de fusión)		FUSIBLE 140K (máximo tiempo de despeje)	
	CORRIENTE (Amp)	CURVAS LENTAS		CURVAS RAPIDAS				AMP	TIEMPO	AMP	TIEMPO
		A	2A	D	2D						
1	280	0,13	0,26	7,5	15,26	600		400	30	400	200
1,5	420	0,088	0,176	2,2	4,576	900	9,5	450	17	450	80
2	560	0,07	0,14	1,3	2,74	1200	6	500	9	500	30
3	840	0,054	0,108	0,5	1,108	1800	1,75	550	5,5	550	14
4	1120	0,0475	0,095	0,3	0,695	2400	1	600	3,5	600	8
5	1400	0,045	0,09	0,225	0,54	3000	0,8	650	2,5	650	5,6
6	1680	0,0425	0,085	0,17	0,425	3600	0,6	700	2	700	4,5
7	1960	0,0415	0,083	0,14	0,363	4200	0,55	1000	0,6	1000	1,3
8	2240	0,04	0,08	0,12	0,32	4800	0,5	2000	0,15	2000	0,25
9	2520	0,04	0,08	0,1	0,28	5400	0,485	2400	0,10	2400	0,2
10	2800	0,04	0,08	0,09	0,26	6000	0,475	3000	0,07	3000	0,12
15	4200	0,04	0,08	0,065	0,21	9000	0,35			3600	0,08
20	5600	0,04	0,08	0,048	0,176	12000	0,22			5600	0,045

Coordinación de Fase de la Alimentadora La Reforma  
Tabla 3.14



Coordinación de Fase de la Alimentadora La Reforma  
Fig. 3.10

En este alimentador existe un máximo punto de coordinación así como un mínimo punto de coordinación que se muestra en la **Tabla 3.15**.

Para todo el rango de corriente de falla de la zona protegida por el fusible, su tiempo mínimo de fusión debe ser mayor que el tiempo de operación del reconectador en su característica rápida, multiplicada por un factor dado por el fabricante. La intersección de esta curva con la de tiempo mínimo de fusión del fusible determina el punto de corriente máxima de coordinación; y su tiempo máximo de aclaramiento, debe ser menor que el tiempo de operación del reconectador en su característica lenta.

Si estas curvas pasan muy cerca, el reconectador deberá dejarse con a lo menos 2 operaciones lentas, para que pueda operar simultáneamente con el fusible. De esta forma, el reconectador podrá reponer el servicio al resto del sistema. Determina el punto de corriente mínima de coordinación.

Alimentadora La Reforma		
RECONNECTADOR - FUSIBLE	Corriente (Amp)	Tiempo (Seg)
Mínimo Punto de Coordinación	5600	0,04
Máximo Punto de Coordinación	850	1,1

**Puntos de Coordinación Reconnectador - Fusible**  
**Tabla 3.15**

En la **Tabla 3.16** se muestra los tiempos de operación para la mayor corriente de falla, así como para la menor corriente de falla, observándose que el interruptor principal tiene una adecuada coordinación.

La Reforma Icc (Amp)	Tiempos de Operación (Seg)					
	Curva Fusible 140K (máx.)	Curvas Lentas		Curvas Rápidas		Curva Principal
A		2A	D	2D		
Reconectador - Fusible (Imáx)						
4147,88	0,065	0,04	0,08	0,06	0,2	0,5
Reconectador - Fusible (Imin)						
3086,03	0,12	0,04	0,08	0,085	0,25	0,7

**Tiempos de Operación Alimentadora La Reforma**  
**Tabla 3.16**

### Alimentador Juján

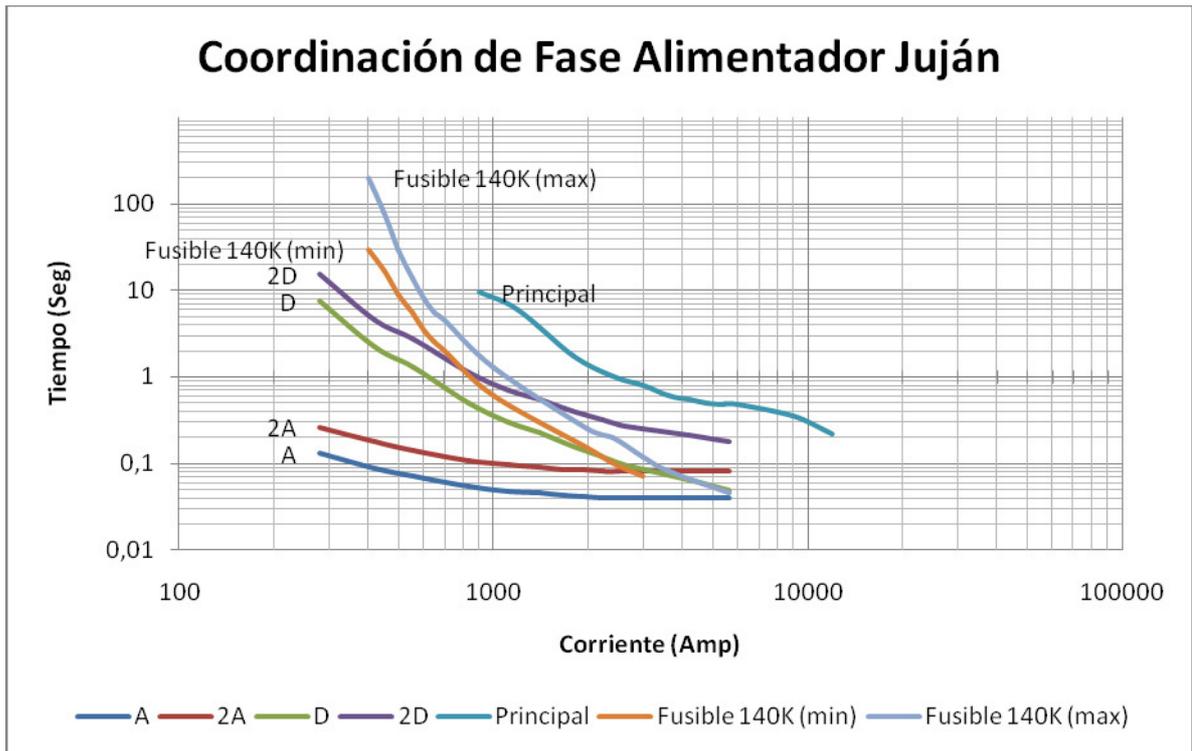
Los transformadores de corriente de la Alimentadora Juján, tienen una relación de N=300/5 y el ajuste del relé de fase es TAP: 4 y TD: 3.

El disyuntor principal tiene transformadores de corriente cuya relación es N=600/5 y el ajuste del relé son TAP: 5 y TD: 3.

Al igual que la Alimentadora La Reforma, este alimentador también está protegido por un reconectador RX, por lo que la [Tabla 3.17](#) se presentan los datos para la coordinación de dichas protecciones.

TAP	RECONECTADOR (RX)					ALIMENTADOR PRINCIPAL		FUSIBLE 140K (mínimo tiempo de fusión)		FUSIBLE 140K (máximo tiempo de despeje)	
	CORRIENTE (Amp)	CURVAS LENTAS		CURVAS RAPIDAS				AMP	TIEMPO	AMP	TIEMPO
		A	2A	D	2D						
1	280	0,13	0,26	7,5	15,26	600		400	30	400	200
1,5	420	0,088	0,176	2,2	4,576	900	9,5	450	17	450	80
2	560	0,07	0,14	1,3	2,74	1200	6	500	9	500	30
3	840	0,054	0,108	0,5	1,108	1800	1,75	550	5,5	550	14
4	1120	0,0475	0,095	0,3	0,695	2400	1	600	3,5	600	8
5	1400	0,045	0,09	0,225	0,54	3000	0,8	650	2,5	650	5,6
6	1680	0,0425	0,085	0,17	0,425	3600	0,6	700	2	700	4,5
7	1960	0,0415	0,083	0,14	0,363	4200	0,55	1000	0,6	1000	1,3
8	2240	0,04	0,08	0,12	0,32	4800	0,5	2000	0,15	2000	0,25
9	2520	0,04	0,08	0,1	0,28	5400	0,485	2400	0,10	2400	0,2
10	2800	0,04	0,08	0,09	0,26	6000	0,475	3000	0,07	3000	0,12
15	4200	0,04	0,08	0,065	0,21	9000	0,35			3600	0,08
20	5600	0,04	0,08	0,048	0,176	12000	0,22			5600	0,045

**Coordinación de Fase de la Alimentadora Juján**  
**Tabla 3.17**



Cabe recalcar que los datos de las **Tablas 3.14 – 3.17** son iguales ya que los relés del disyuntor principal tienen los mismos ajustes en todas las alimentadoras de la S/E Centro Industrial.

En cada alimentador existen puntos de coordinación este punto indica donde comienza a operar el equipo (fusible, reconectador, interruptor), para que la falla sea despejada, con el fin de evitar daños o molestia a los usuarios.

En este alimentador existe un máximo punto de coordinación así como un mínimo punto de coordinación que se muestra en la tabla.

El máximo punto de coordinación se obtiene entre el máximo punto de despeje de la falla y la mínima del reconectador; el mínimo punto de coordinación, se lo obtiene por medio de la intersección del mínimo punto de fusión del fusible y la máxima operación ajustada del reconectador.

Alimentadora Juján		
RECONECTADOR - FUSIBLE	Corriente (Amp)	Tiempo (Seg)
Mínimo Punto de Coordinación	5600	0,04
Máximo Punto de Coordinación	850	1,1

**Puntos de Coordinación Reconector - Fusible**  
**Tabla 3.18**

La **Tabla 3.19**, presenta los tiempos de operación para la mayor corriente de falla, así como para la menor corriente de falla, observándose que el interruptor principal tiene una adecuada coordinación, además muestra el tiempo en el cual el fusible empieza a ver la falla.

Juján Icc (Amp)	Tiempos de Operación (Seg)					
	Curva Fusible 140K (máx.)	Curvas Lentas		Curvas Rápidas		Curva Principal
Reconector - Fusible (Imáx)		A	2A	D	2D	
5314,71	0,042	0,04	0,08	0,039	0,16	0,5
Reconector - Fusible (Imin)						
475,047	13,1	0,08	0,16	1,75	3,66	NO OPERA

**Tiempos de Operación Alimentadora Juján**  
**Tabla 3.19**

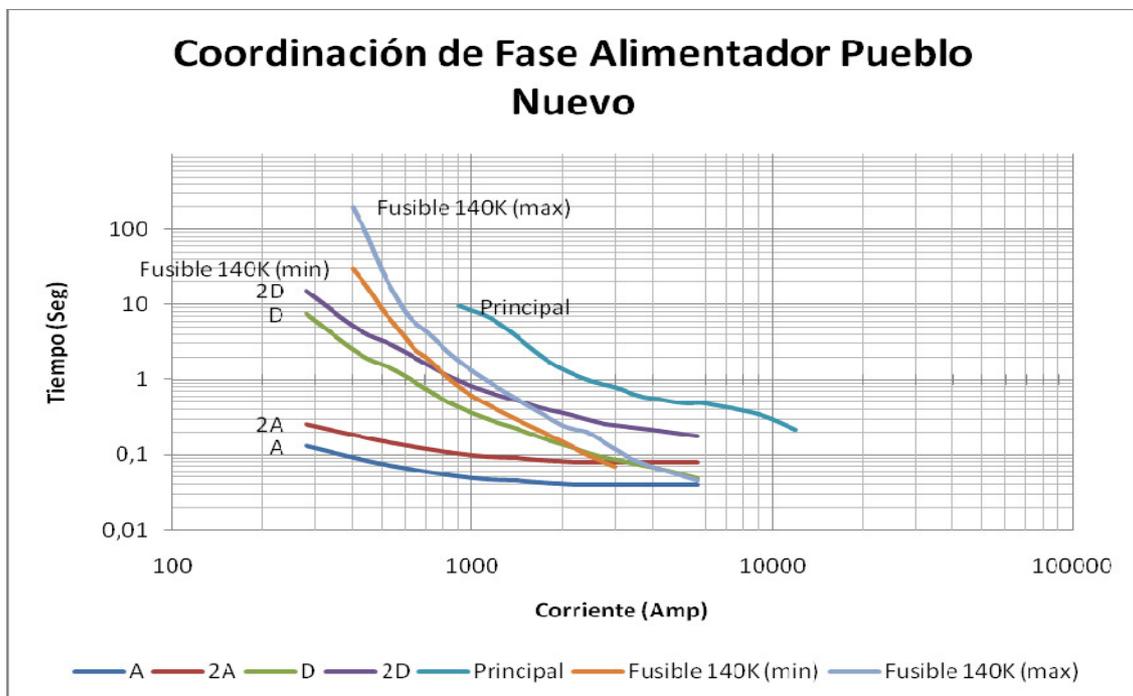
### Alimentador Pueblo Nuevo

Este Alimentador también es protegido por un Reconector (RX), en la **Tabla 3.20** se indica el cual el ajuste de la bobina de disparo es de 140Amp y la corriente mínima de operación es de 280Amp.

El disyuntor principal tiene transformadores de corriente cuya relación es N=600/5 y el ajuste del relé es TAP: 5 y TD: 3.

TAP	RECONECTADOR (RX)					ALIMENTADOR PRINCIPAL		FUSIBLE 140K (mínimo tiempo de fusión)		FUSIBLE 140K (máximo tiempo de despeje)	
	CORRIENTE (Amp)	CURVAS LENTAS		CURVAS RAPIDAS		AMP	TIEMPO	AMP	TIEMPO	AMP	TIEMPO
		A	2A	D	2D						
1	280	0,13	0,26	7,5	15,26	600		400	30	400	200
1,5	420	0,088	0,176	2,2	4,576	900	9,5	450	17	450	80
2	560	0,07	0,14	1,3	2,74	1200	6	500	9	500	30
3	840	0,054	0,108	0,5	1,108	1800	1,75	550	5,5	550	14
4	1120	0,0475	0,095	0,3	0,695	2400	1	600	3,5	600	8
5	1400	0,045	0,09	0,225	0,54	3000	0,8	650	2,5	650	5,6
6	1680	0,0425	0,085	0,17	0,425	3600	0,6	700	2	700	4,5
7	1960	0,0415	0,083	0,14	0,363	4200	0,55	1000	0,6	1000	1,3
8	2240	0,04	0,08	0,12	0,32	4800	0,5	2000	0,15	2000	0,25
9	2520	0,04	0,08	0,1	0,28	5400	0,485	2400	0,10	2400	0,2
10	2800	0,04	0,08	0,09	0,26	6000	0,475	3000	0,07	3000	0,12
15	4200	0,04	0,08	0,065	0,21	9000	0,35			3600	0,08
20	5600	0,04	0,08	0,048	0,176	12000	0,22			5600	0,045

Coordinación de Fase de la Alimentadora Pueblo Nuevo  
Tabla 3.20



Coordinación de Fase de la Alimentadora Pueblo Nuevo  
Fig. 3.12

En este alimentador existe un máximo punto de coordinación así como un mínimo punto de coordinación que se muestra en la **Tabla 3.21**.

El máximo punto de coordinación se obtiene entre el mínimo punto de fusión del fusible y la máxima del reconectador ajustada; el mínimo punto de coordinación, se lo obtiene por medio de la intersección del máximo punto de despeje de la falla y la mínima operación del reconectador.

Alimentadora Pueblo Nuevo		
RECONECTADOR - FUSIBLE	Corriente (Amp)	Tiempo (Seg)
Mínimo Punto de Coordinación	5600	0,04
Máximo Punto de Coordinación	850	1,1

**Puntos de Coordinación Reconectador - Fusible**  
**Tabla 3.21**

La **Tabla 3.22**, presenta los tiempos de operación para la mayor corriente de falla, así como para la menor corriente de falla, observándose que el interruptor principal tiene una adecuada coordinación.

Pueblo Nuevo Icc (Amp)	Tiempos de Operación (Seg)					
	Curva Fusible 140K (máx.)	Curvas Lentas		Curvas Rápidas		Curva Principal
Reconectador - Fusible (Imáx)		A	2A	D	2D	
4806,4	0,053	0,04	0,08	0,053	0,186	0,5
Reconectador - Fusible (Imín)						
3651,2	0,078	0,04	0,08	0,073	0,226	0,6

**Tiempos de Operación Alimentadora Pueblo Nuevo**  
**Tabla 3.22**

## Análisis del Sistema considerando una impedancia de falla $Z_f=20\Omega$

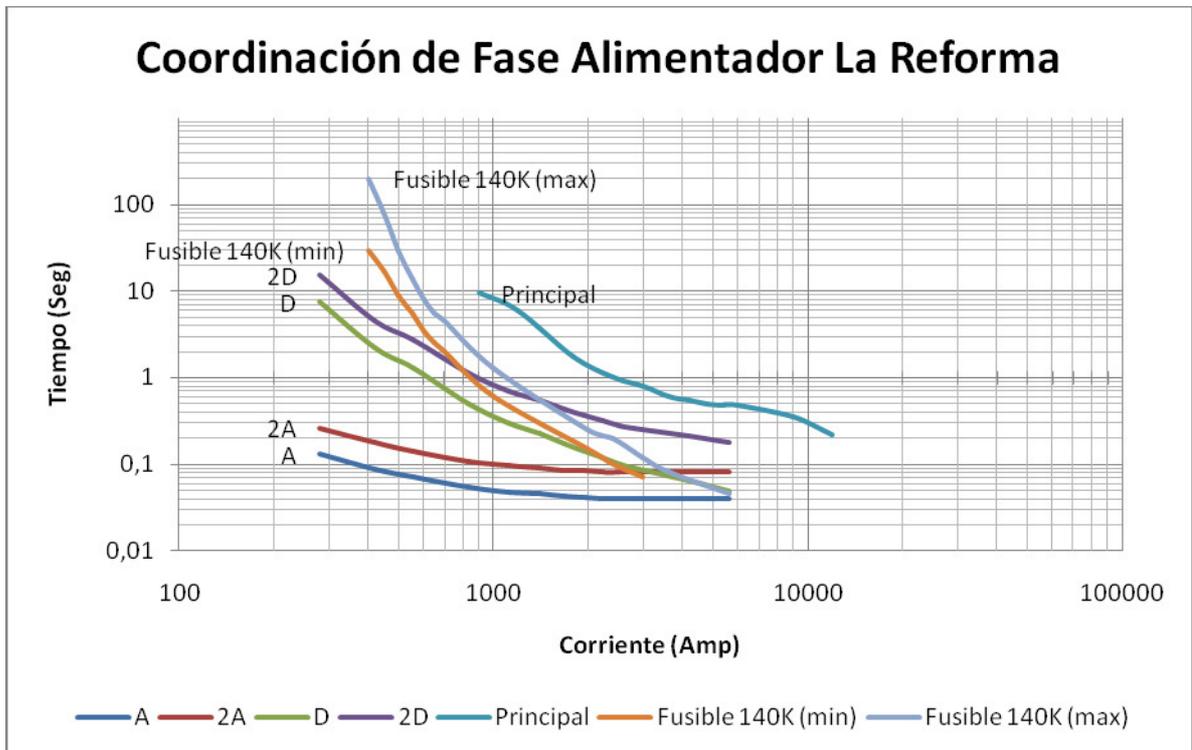
La contribución de la impedancia de falla  $Z_f$  en el sistema de distribución ha hecho que el análisis tenga una mayor efectividad con los sistemas reales, los valores comúnmente usados para líneas de distribución fluctúan entre los 5 a 25 $\Omega$ ; para nuestro estudio se considero una impedancia de falla  $Z_f= 20\Omega$  en todos los alimentadores.

### Alimentador La Reforma

La coordinación se ha realizado en base al estudio de la corriente de cortocircuito, para el relé de fase se ha considerado la mayor corriente, como podemos notar en el [Tabla 3.23](#) los ajustes son los mismos tanto del TAP como para el TD mencionados anteriormente por lo que se procedió al análisis respectivo.

TAP	RECONECTADOR (RX)					ALIMENTADOR PRINCIPAL		FUSIBLE 140K (mínimo tiempo de fusión)		FUSIBLE 140K (máximo tiempo de despeje)	
	CORRIENTE (Amp)	CURVAS LENTAS		CURVAS RAPIDAS		AMP	TIEMPO	AMP	TIEMPO	AMP	TIEMPO
		A	2A	D	2D						
1	280	0,13	0,26	7,5	15,26	600		400	30	400	200
1,5	420	0,088	0,176	2,2	4,576	900	9,5	450	17	450	80
2	560	0,07	0,14	1,3	2,74	1200	6	500	9	500	30
3	840	0,054	0,108	0,5	1,108	1800	1,75	550	5,5	550	14
4	1120	0,0475	0,095	0,3	0,695	2400	1	600	3,5	600	8
5	1400	0,045	0,09	0,225	0,54	3000	0,8	650	2,5	650	5,6
6	1680	0,0425	0,085	0,17	0,425	3600	0,6	700	2	700	4,5
7	1960	0,0415	0,083	0,14	0,363	4200	0,55	1000	0,6	1000	1,3
8	2240	0,04	0,08	0,12	0,32	4800	0,5	2000	0,15	2000	0,25
9	2520	0,04	0,08	0,1	0,28	5400	0,485	2400	0,10	2400	0,2
10	2800	0,04	0,08	0,09	0,26	6000	0,475	3000	0,07	3000	0,12
15	4200	0,04	0,08	0,065	0,21	9000	0,35			3600	0,08
20	5600	0,04	0,08	0,048	0,176	12000	0,22			5600	0,045

Coordinación de Fase de la Alimentadora La Reforma  
Tabla 3.23



La [Tabla 3.24](#), presenta el máximo punto de coordinación así como un mínimo punto de coordinación.

Alimentadora La Reforma		
RECONECTADOR - FUSIBLE	Corriente (Amp)	Tiempo (Seg)
Mínimo Punto de Coordinación	5600	0,04
Máximo Punto de Coordinación	850	1,1

**Puntos de Coordinación Reconectador - Fusible**  
**Tabla 3.24**

En la [Tabla 3.25](#) se muestra los tiempos de operación para la mayor corriente de falla, así como para la menor corriente de falla, en donde se nota que el interruptor principal no tiene una adecuada coordinación.

La Reforma Icc (Amp)	Tiempos de Operación (Seg)					
	Curva Fusible 140K (máx.)	Curvas Lentas		Curvas Rápidas		Curva Principal
Reconectador - Fusible (Imáx)		A	2A	D	2D	
10.691,9	NO OPERA	NO OPERA	NO OPERA	NO OPERA	NO OPERA	NO OPERA
Reconectador - Fusible (Imín)						
641,9	5	0,06	0,13	0,98	2	NO OPERA

**Tiempos de Operación Alimentadora La Reforma  
Tabla 3.25**

Para el análisis con  $Z_f=20\Omega$  de las 2 alimentadoras siguientes se tomara en cuenta los mismos puntos máximos y mínimos de coordinación antes mencionados ya que las tres alimentadoras tienen el mismo ajuste en los relés de protección

### Alimentador Juján

La [Tabla 3.26](#), presenta el máximo punto de coordinación así como un mínimo punto de coordinación.

Alimentadora Juján		
RECONECTADOR - FUSIBLE	Corriente (Amp)	Tiempo (Seg)
Mínimo Punto de Coordinación	5600	0,04
Máximo Punto de Coordinación	850	1,1

**Puntos de Coordinación Reconectador - Fusible  
Tabla 3.26**

La [Tabla 3.27](#), presenta los tiempos de operación para la mayor corriente de falla, así como para la menor corriente de falla, en donde se nota que el interruptor principal tiene una adecuada coordinación.

Juján Icc (Amp)	Tiempos de Operación (Seg)					
	Curva Fusible 140K (máx.)	Curvas Lentas		Curvas Rápidas		Curva Principal
A		2A	D	2D		
Reconectador - Fusible (Imáx)						
14.220,95	NO OPERA	NO OPERA	NO OPERA	NO OPERA	NO OPERA	NO OPERA
Reconectador - Fusible (lmin)						
364,642	NO OPERA	0,1	0,2	3,5	7,2	NO OPERA

**Tiempos de Operación Alimentadora Juján**  
**Tabla 3.27**

### Alimentador Pueblo Nuevo

La **Tabla 3.28**, presenta el máximo punto de coordinación así como un mínimo punto de coordinación.

Alimentadora Pueblo Nuevo		
RECONNECTADOR - FUSIBLE	Corriente (Amp)	Tiempo (Seg)
Mínimo Punto de Coordinación	5600	0,04
Máximo Punto de Coordinación	850	1,1

**Puntos de Coordinación Reconectador - Fusible**  
**Tabla 3.28**

La **Tabla 3.29**, presenta los tiempos de operación para la mayor corriente de falla, así como para la menor corriente de falla, en donde se nota que el interruptor principal no tiene una adecuada coordinación.

Pueblo Nuevo Icc (Amp)	Tiempos de Operación (Seg)					
	Curva Fusible 140K (máx.)	Curvas Lentas		Curvas Rápidas		Curva Principal
A		2A	D	2D		
Reconectador - Fusible (Imáx)						
12.650,3	NO OPERA	NO OPERA	NO OPERA	NO OPERA	NO OPERA	NO OPERA
Reconectador - Fusible (lmin)						
652,05	6	0,06	0,12	0,89	1,9	NO OPERA

**Tiempos de Operación Alimentadora Pueblo Nuevo**  
**Tabla 3.29**

## **Análisis de la coordinación de Fusibles del Sistema Actual de la S/E Centro Industrial**

El análisis de la coordinación se realizó tomando en cuenta las corrientes de corto circuito, calculadas para cada alimentador, verificando si la coordinación entre fusible protector y fusible protegido es la adecuada.

Para la coordinación de los fusibles se tiene 2 métodos, la primera se logra comparando la curva I-t de interrupción total del fusible protector, es decir habrá coordinación cuando la relación entre el mínimo tiempo de fusión del fusible de respaldo y el máximo tiempo de despeje de la falla del fusible principal, no supere el 75% en valores de tiempo, para asegurar la no operación o daño por efectos de precalentamiento debido a la carga y alta temperatura ambiente. El segundo método es utilizando la tabla de coordinación de los fusibles tipo K, para más agilidad utilizamos el segundo método.

### **Alimentador La Reforma**

La **Tabla 3.30**, presenta la cantidad, tipo y ubicación de fusibles en la Alimentadora La Reforma. En el diagrama unifilar de La alimentadora se muestra dicha ubicación.

FUSIBLE	UBICACIÓN DEL FUSIBLE	TIPO
1	1	65K
2	5,1	80K
3	5,4	30K
4	6a	40K
5	6b	65K
6	7	65K
7	8a	100K
8	8b	100K
9	8,1	30K
10	8,4	40K
11	9	25K
12	16	25K
13	19	30K
14	20	65K
15	20,1	25K
16	22,3	65K
17	23	65K
18	24	100K
19	27,1a	6K
20	27,1b	10K
21	28	20K

**Numero de Fusibles Alimentadora La Reforma**  
**Tabla 3.30**

En esta alimentadora existen varios casos para en los cuales los fusibles deberían estar coordinados:

- El primer caso se trata de los fusibles 2 (respaldo) y 3 (protector) cuyos valores son de 80K y 30K respectivamente. El valor de la máxima corriente de cortocircuito en la ubicación del fusible protector es de 2475 amperios (ver Tabla 3.31) y en la que se muestra que la máxima corriente de coordinación es 2800 A. Debido a que este último es mayor que los 2475 amperios calculados, estos fusibles se encuentran coordinados.
- El segundo caso se trata de los fusibles 7 y 9, cuyos valores son de 100K, 30K respectivamente. El máximo valor de coordinación entre los fusibles 100K (respaldo) y 30K (protector) es de 3900 amperios, mayor que el valor

de la corriente de cortocircuito en la ubicación del fusible 9 que es de 2417 amperios, por lo que están correctamente coordinados.

- El tercer caso se trata de los fusibles 8 y 10, cuyos valores son de 100K, 40K respectivamente. El máximo valor de coordinación entre los fusibles 100K (respaldo) y 40K (protector) es de 3900 amperios, mayor que el valor de la corriente de cortocircuito en la ubicación del fusible 11 que es de 2249 amperios, por lo que están correctamente coordinados.
- Por último el fusible 14 de 65K le sirve de respaldo al 15 que es de 25K, ambos fusibles coordinan hasta una corriente de cortocircuito de 2200 amperios por lo que se puede observar en la tabla que están correctamente coordinados ya que la corriente de cortocircuito en el punto de interés es de 1694 amperios y este valor es menor que la corriente de coordinación de los fusibles antes expuestos.

La **Tabla 3.31**, presenta la coordinación de los fusibles de la alimentadora La Reforma, la cual indica que los fusibles se hayan correctamente coordinados.

Fusible				Máxima corriente de cortocircuito		COORDINACION
PROTECTOR		RESPALDO		Para Coordinación	En el punto de Estudio	
Código	Tipo K	Código	Tipo K			
3	30	2	80	2800	2475	Si
9	30	7	100	3900	2417	Si
10	40	8	100	3900	2249	Si
15	25	14	65	2200	1694	Si

**Coordinación de Fusibles Alimentadora La Reforma**  
**Tabla 3.31**

## Alimentador Juján

La **Tabla 3.32**, presenta la cantidad, tipo y ubicación de fusibles de la Alimentadora Juján.

FUSIBLE	UBICACIÓN DEL FUSIBLE	TIPO
1	1	25K
2	1,b	30K
3	26	65K
4	27	25K
5	28a	65K
6	28b	65K
7	30	100K
8	31	40K
9	2	25K
10	3	65K
11	4	80K
12	35	140K
13	5	80K
14	37	100K
15	38	30K
16	6	80K
17	7	100K
18	41	50K
19	8	40K
20	9	25K
21	10	20K
22	47	65K
23	48	100K
24	11	80K
25	49	30K
26	51	25K
27	52	25K
28	13	30K
29	54	65K
30	57	25K
31	56	30K
32	66	65K
33	60	25K
34	62	15K
35	63a	30K
36	63b	30K
37	14	20K
38	68	6K
39	70	15K
40	15	15K
41	72	6K
42	16	6K

43	75	6K
44	17a	6K
45	17b	6K
46	17c	10K
47	17	10K
48	80	10K
49	82	10K
50	84	10K
51	86	80K
52	87	40K
53	89a	40K
54	89b	40K
55	91	15K
56	94a	40K
57	94b	25K
58	97	65K
59	99	80K
60	100	40K
61	103	100K
62	105	30K
63	107a	80K
64	107b	40
65	109	15
66	115	40
67	117	20
68	119	15
69	120	15
70	132	25
71	134	10
72	127	30
73	128	15
74	137	25K
75	139	25K
76	141	30
77	142	10
78	146	65K
79	148	80K
80	150	40K
81	152	15K
82	154	25K
83	156	15K
84	181	40K
85	179	15K
86	178	25K
87	27	30
88	21	10
89	22	65K
90	24	80K
91	166	40K
92	175	15K
93	174	25K

94	25	15K
95	168	40K
96	170	25
97	172	6

**Numero de Fusibles Alimentadora Juján**  
**Tabla 3.32**

En esta alimentadora existen varios casos para en los cuales los fusibles deberían estar coordinados:

- El primer caso se trata de los fusibles 24 (respaldo) y 25 (protector) cuyos valores son de 80K y 30K respectivamente. El valor de la máxima corriente de cortocircuito en la ubicación del fusible protector es de 2247 amperios (ver Tabla 3.33) y en la que se muestra que la máxima corriente de coordinación es 2800 A. Debido a que este último es mayor que los 2247 amperios calculados, estos fusibles se encuentran coordinados.
- El segundo caso en este alimentador existe un caso en particular, el fusible 29 tiene que servir de respaldo para los fusibles 60, 35, y 36. El fusible de respaldo es de 65K y los protectores son de 25 o de 30K. Ambos fusibles (25K y 30K) coordinan hasta una corriente de cortocircuito de 2200 y 1700 Amp. con el de 65K y si se observa la siguiente tabla, este valor es mayor que las máximas corrientes de cortocircuito en los punto de interés.
- El tercer caso se trata de los fusibles 59 y 60, cuyos valores son de 80K, 40K respectivamente. El máximo valor de coordinación entre los fusibles 80K (respaldo) y 40K (protector) es de 2200 amperios, mayor que el valor de la corriente de cortocircuito en la ubicación del fusible 60 que es de 1108 amperios, por lo que están correctamente coordinados.

- El cuarto caso se trata de los fusibles 64 y 65, cuyos valores son de 40K, 15K respectivamente. El máximo valor de coordinación entre los fusibles 40K (respaldo) y 15K (protector) es de 1340 amperios, mayor que el valor de la corriente de cortocircuito en la ubicación del fusible 65 que es de 908 amperios, por lo que están correctamente coordinados.
- Por otro lado, el fusible 51 tiene que respaldar al fusible 52, 53 y 54; al igual que el 54 debe coordinar con el 55. Los valores de corriente en el punto de estudio son menores que los valores de corriente máxima de coordinación por lo tanto sus curvas de operación están debidamente coordinadas.
- Por último el fusible 66 de 40K le sirve de respaldo al 67, 68 y 69 que son de 20 y 15K, ambos fusibles coordinan hasta una corriente de cortocircuito de 1100 y 1340 amperios por lo que se puede observar en la tabla que están correctamente coordinados ya que la corriente de cortocircuito en el punto de interés son menores que la corriente de coordinación de los fusibles antes expuestos.

La **Tabla 3.33**, presenta la coordinación de los fusibles de la alimentadora Juján, la cual indica que para las corrientes de coordinación y para la máxima corriente de falla de los fusibles estos están debidamente coordinados.

Fusible				Máxima corriente de cortocircuito		COORDINACION
PROTECTOR		RESPALDO		Para Coordinación	En el punto de Estudio	
Código	Tipo K	Código	Tipo K			
25	30	24	80	2800	2247	Si
60	25	29	65	2200	1675	Si
35	30	29	65	1700	1594	Si
36	30	29	65	1700	1615	Si
52	40	51	80	2200	1135	Si
53	40	51	80	2200	1078	Si
54	40	51	80	2200	1073	Si
55	15	54	40	1340	1052	Si
60	40	59	80	2200	1108	Si
65	15	64	40	1340	908	Si
67	20	66	40	1100	801	Si
68	15	66	40	1340	750	Si
69	15	66	40	1340	749	Si
71	10	70	25	840	690	Si
73	15	72	30	870	747	Si
77	10	76	30	1060	992	Si
97	6	96	25	840	617	Si

**Coordinación de Fusibles Alimentadora Juján**  
**Tabla 3.33**

### **Alimentador Pueblo Nuevo**

La **Tabla 3.34**, presenta la cantidad, tipo y ubicación de fusibles de la Alimentadora Pueblo Nuevo

FUSIBLE	UBICACIÓN DEL FUSIBLE	TIPO
1	1	65K
2	2	80K
3	3	140K
4	3,1	80K
5	4	100K
6	4,1	30K
7	5	80K
8	6	100K
9	6,1	50K
10	10	40K
11	11	25K
12	12	25K
13	13	30K
14	14	65K
15	15	25K
16	16	65K
17	17	65K
18	18	100K
19	19	6K
20	20	10K
21	21	20K
22	23	65K
23	24	100K
24	26	6K
25	27	20K
26	28	25K
27	29	25K
28	30	30K
29	31	65K
30	33	25K
31	34	30K
32	39	65K
33	40	25K
34	44	30K
35	45	65K
36	46	20K

**Numero de Fusibles Alimentadora Pueblo Nuevo**  
**Tabla 3.34**

En esta alimentadora existen varios casos para en los cuales los fusibles deberían estar coordinados:

- El primer caso se trata de los fusibles 3 (respaldo) y 4 (protector) cuyos valores son de 140K y 80K respectivamente. El valor de la máxima corriente de cortocircuito en la ubicación del fusible protector es de 3401 amperios (ver Tabla 3.35) y en la que se muestra que la máxima corriente de coordinación es 4500 A. Debido a que este último es mayor que los 3401 amperios calculados, estos fusibles se encuentran coordinados.
- El segundo caso se trata de los fusibles 5 y 6, cuyos valores son de 100K, 30K respectivamente. El máximo valor de coordinación entre los fusibles 100K (respaldo) y 30K (protector) es de 3900 amperios, mayor que el valor de la corriente de cortocircuito en la ubicación del fusible 6 que es de 3233 amperios, por lo que están correctamente coordinados.
- El tercer caso se trata de los fusibles 8 y 9, cuyos valores son de 100K, 50K respectivamente. El máximo valor de coordinación entre los fusibles 100K (respaldo) y 50K (protector) es de 3500 amperios, mayor que el valor de la corriente de cortocircuito en la ubicación del fusible 9 que es de 3094 amperios, por lo que están correctamente coordinados.

En esta alimentadora se podrá notar que tiene una gran cantidad de fusibles de los cuales no se tiene que hacer la coordinación con otros, ya que cada uno protege un ramal y no existen fusibles de respaldo alguno.

A continuación se muestra la **Tabla 3.35** con la coordinación de los fusibles de la alimentadora Pueblo Nuevo.

Fusible				Máxima corriente de cortocircuito		COORDINACION
PROTECTOR		RESPALDO		Para Coordinación	En el punto de Estudio	
Código	Tipo K	Código	Tipo K			
4	80	3	140	4500	3401	Si
6	30	5	100	3900	3233	Si
9	50	8	100	3500	3094	Si

**Coordinación de Fusibles Alimentadora Pueblo Nuevo  
Tabla 3.35**

A continuación se presentan planos con la configuración actual del sistema de Protecciones de todas las Alimentadoras de la S/E Centro Industrial.





CONFIGURACION ACTUAL DEL SISTEMA DE PROTECCIONES DE LA ALIMENTADORA LA REFORMA



CONFIGURACION ACTUAL DEL SISTEMA DE PROTECCIONES DE LA ALIMENTADORA LA REFORMA

## **Protección de Sobrevoltaje en la Subestación Centro Industrial**

La Subestación Centro Industrial cuenta con pararrayos de 10 y 12 KV tipo MOV (metal oxide varistor).

La Empresa ubica a los pararrayos en cada uno de los transformadores, capacitores, acometidas en alta y a lo largo de la línea de distribución.

La protección contra sobrevoltajes y descargas atmosféricas están debidamente coordinadas.

## **3.4. Cargas / consumidores**

Existen diversos criterios para la clasificación de las cargas, entre los cuales destacan:

- a. Localización Geográfica
- b. Tipo de utilización de la energía
- c. Dependencia de la energía eléctrica (Confiabilidad)
- d. Efecto de la carga en el sistema de distribución (Ciclo de las Cargas)
- e. Tarifas
- f. Especiales

### **a) Localización Geográfica**

Un sistema de distribución debe atender a usuarios de energía eléctrica, tanto los localizados en ciudades como zonas rurales; por lo tanto, es obvia una división del área que atiende el sistema de distribución en zonas.

La carga de cada usuario se clasificara de acuerdo con su localización geográfica, destacando peculiaridades típicas de cada zona. La **Tabla 3.36** presenta algunos valores de densidades características por zona.

ZONAS	MVA/Km2 Densidad
Urbana Central	40 - 100
Semiurbana	3 - 5
Urbana	5 - 40
Rural	< 5

**Densidad Característica**  
**Tabla 3.36**

b) Tipo de utilización de la energía

Las aplicaciones que da el usuario al consumo de energía eléctrica pueden servir como parámetros para clasificar las cargas; así, de estas se tienen por ejemplo:

- Cargas Residenciales
- Cargas de Iluminación en predios Comerciales
- Cargas de fuerza en predios Comerciales
- Cargas Industriales
- Cargas de Municipios o Gubernamentales
- Cargas Hospitalarias

c) Dependencia de la energía eléctrica (Confiabilidad)

Considerando los perjuicios que pueden causar las interrupciones de energía eléctrica en las cargas, es posible clasificar estas en:

- Sensibles

- Semisensibles
- Normales

d) Efecto de la carga en el sistema de distribución y ciclo de trabajo de las cargas

Conforme al ciclo de trabajo, las cargas se pueden clasificar en:

- Transitorias cíclicas
- Transitorias acíclicas
- Normales

Las primeras son aquellas que no funcionan continuamente y efectúan un ciclo de trabajo periódico, desarrollando las segundas un ciclo de trabajo no periódico, no así las normales que trabajan continuamente. La existencia de cargas transitorias impone soluciones más elaboradas, en especial tratándose de cargas de gran potencia, ya que ocasionan perturbaciones en el sistema y deben evitarse.

e) Tarifas

Otro criterio de clasificación es la tarifa o la manera de cobro de la energía que se suministra. Para ello las compañías eléctricas acostumbras catalogar a sus consumidores de acuerdo con el tipo de carga que consumen. Evidentemente, esto dependerá del criterio de cada compañía.

f) Especiales

Dentro de las cargas especiales se distinguen las que introducen asimetrías al sistema y lo desequilibran, por ejemplo: Hornos monofásicos eléctricos.

Con el propósito de determinar la relación de consumidores existentes por transformador, en el periodo del levantamiento de las alimentadoras se tomó una muestra de 35 transformadores (20 de 50KVA, 10 de 25KVA y 5 de 37.5KVA) por alimentadora, tomando el número de consumidores asociados a cada uno de los transformadores, información que será de gran relevancia en análisis posteriores. La razón de haber investigado estos transformadores se debe a que son las capacidades típicas cuando se trata de alimentar cargas residenciales.

De esta manera se llegó a la conclusión de que los consumidores están dentro de un rango en relación a la capacidad asociada del transformador,

La **Tabla 3.37** presenta el rango de consumidores para cada capacidad de transformador investigado.

TRANSFORMADOR	CONSUMIDORES
25 KVA	[8:16]
37,5 KVA	[14:19]
50 KVA	[18:27]

**Rango de Consumidores por Capacidad de Transformador**  
**Tabla 3.37**

Hay muchas otras capacidades de transformadores dentro del sistema que mencionan pero estas no se las consideró en la **Tabla 3.37** ya que normalmente se usan para acometidas en alta tensión y consideramos como un solo consumidor.

La **Tabla 3.38** presenta la capacidad instalada, el número de clientes, la demanda máxima expresada en KVA de cada alimentadora de la Subestación

Centro Industrial. Además se mostrará los valores de KVA por número de consumidores y la cargabilidad en promedio de los transformadores de distribución.

Alimentadora	KVA Inst.	Clientes	KVA Máx.	Carga / Consumidor		Cargabilidad
				KVAinst/Cliente	KVAmáx/Cliente	% de Carga KVAinst/KVAmáx
La Reforma	7224	4399	4774	1,64	1,09	66,50%
Juján	4791	4034	1815	1,19	0,45	37,80%
Pueblo Nuevo	1244	1427	1046	0,87	0,73	83,90%

**Cargabilidad de las Alimentadoras de la S/E Centro Industrial**  
**Tabla 3.38**

Nótese que los KVA instalados por cliente en la alimentadora Juján es elevado pero el porcentaje de cargabilidad de los transformadores es pequeño. Esto indica que existe en general un sobredimensionamiento de estos equipos en esta alimentadora.

Note además, que el porcentaje de carga de los transformadores distribución en máxima carga de no supera el 90%. Esto se debe a la política de la empresa de tratar de alargar la vida de estos equipos y no realizar inversiones futuras.

### **3.5. Información estadística de interrupciones**

Acorde al CONELEC una interrupción es el corte parcial o total del suministro de electricidad a los consumidores del área de concesión del Distribuidor.

De las estadísticas de fallas desde 2005 hasta 2008 de las Alimentadoras de la subestación Centro Industrial, se obtuvo información para establecer el

comportamiento de este sistema eléctrico, y de los problemas que suelen presentarse en el mismo y que afectan la prestación del servicio eléctrico de distribución.

De acuerdo a la normativa de regulación 004/01, la empresa Distribuidora de energía eléctrica deberá llevar un registro histórico de interrupciones de por lo menos los últimos tres años. Esta regulación contempla 4 formas de clasificación que se mostrarán a continuación:

- 1) Por su duración
- 2) Por su origen
- 3) Por su Causa
- 4) Por el Nivel de Voltaje

A continuación se procederá a clasificar los tipos de falla y se analizará esa clasificación para la subestación Centro Industrial.

### **Por su Duración:**

A su vez la regulación 004/01 clasifica a las interrupciones según su duración en 2 grupos:

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

La **Tabla 3.39** presenta la clasificación de fallas por su duración en La ALIMENTADORA LA REFORMA, describe la cantidad de fallas totales ocurridas en los años 2005-2006-2007-2008 y las clasifica por un periodo de mayor o menor a 3 minutos. Indicando que el año 2006 tuvo más interrupciones.

ALIMENTADORA LA REFORMA			
AÑO	Menor a 3 min	Mayor a 3 min	Total
2005	2	13	15
2006	3	16	19
2007	4	14	18
2008	3	12	15

**Clasificación de las fallas por su duración Alimentadora La Reforma**  
**Tabla 3.39**

La **Tabla 3.40** presenta la clasificación de fallas por su duración en La ALIMENTADORA JUJAN, describe la cantidad de fallas totales ocurridas en los años 2005-2006-2007-2008 y las clasifica por un periodo de mayor o menor a 3 minutos. Indicando que el año 2005 tuvo más interrupciones.

ALIMENTADORA JUJAN			
AÑO	Menor a 3 min	Mayor a 3 min	Total
2005	6	63	69
2006	6	60	66
2007	4	59	63
2008	3	42	45

**Clasificación de las fallas por su duración Alimentadora Juján**  
**Tabla 3.40**

La **Tabla 3.41** presenta la clasificación de fallas por su duración en La ALIMENTADORA PUEBLO NUEVO, describe la cantidad de fallas totales ocurridas en los años 2005-2006-2007-2008 y las clasifica por un periodo de mayor o menor a 3 minutos, en la cual podemos notar que el 2005 fue el año con mayor interrupción.

ALIMENTADORA PUEBLO NUEVO			
AÑO	Menor a 3 min	Mayor a 3 min	Total
2005	4	65	69
2006	3	63	66
2007	2	60	62
2008	3	69	72

**Clasificación de las fallas por su duración Alimentadora Pueblo Nuevo  
Tabla 3.41**

La **Tabla 3.42** presenta la clasificación de las fallas por su duración ocurridas en toda la S/E Centro Industrial, describe la cantidad de fallas totales ocurridas en los años 2005-2006-2007-2008 y las clasifica por un periodo de Mayor o Menor a 3 minutos, en la cual observamos que el mayor número de interrupciones ocurrido fue en el año 2005.

SUBESTACIÓN CENTRO INDUSTRIAL			
AÑO	Menor a 3 min	Mayor a 3 min	Total
2005	12	141	153
2006	12	139	151
2007	10	133	143
2008	9	123	132

**Clasificación de las fallas por su duración S/E Centro Industrial  
Tabla 3.42**



**Clasificación de las fallas por su duración S/E Centro Industrial  
Fig. 3.14**

En la **Figura 3.14** se observa que las interrupciones de duración mayor a 3 minutos tiene una tendencia a decrecer en cambio las de menor duración tienen una tendencia a subir. Pero sin embargo la mayoría de las fallas tienen un tiempo mayor a 3 min, esto es debido a que son fallas permanentes por la ubicación de las alimentadoras en zonas rurales y puntos alejados de la subestación.

Además la Empresa está haciendo una labor aceptable para disminuir la duración de las fallas por eso se nota un decrecimiento a pesar de que la disminución no es significativa.

### **Por su Origen:**

A su vez la regulación 004/01 clasifica a las interrupciones según su origen en 2 grupos:

- 1) Externas al sistema de distribución.

- Otro Distribuidor
- Transmisor
- Generador
- Restricción de carga
- Baja frecuencia
- Otras

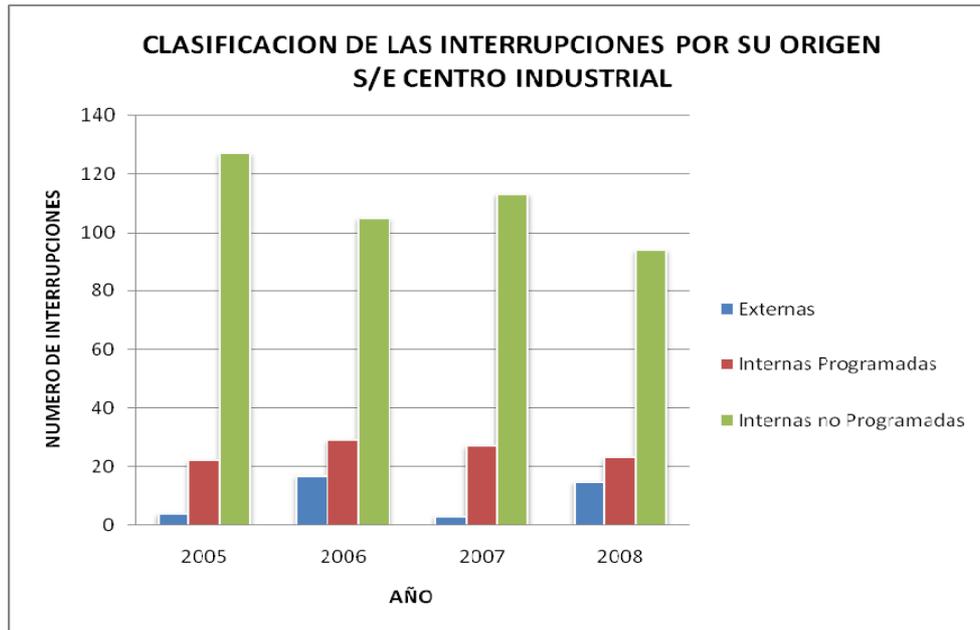
2) Internas al sistema de distribución.

- Programadas
- No Programadas

La **Tabla 3.43** presenta la clasificación de las fallas por su Origen S/E Centro Industrial, describe la cantidad de fallas totales ocurridas en los años 2005-2006-2007-2008 y las clasifica en Externas, Internas Programadas e Internas no Programadas.

Año	Externas	Internas Programadas	Internas no Programadas	Total
2005	4	22	127	153
2006	17	29	105	151
2007	3	27	113	143
2008	15	23	94	132

**Clasificación de las fallas por su Origen S/E Centro Industrial**  
**Tabla 3.43**



**Clasificación de las fallas por su origen S/E Centro Industrial  
Fig. 3.15**

En la **Figura 3.15** se observa que las interrupciones internas no programadas son ampliamente superiores a las internas programadas y a las externas. Esto quiere decir que los problemas fortuitos ocurren más frecuentemente que los otros tipos de falla, por ejemplo se puede citar: Choques contra postes, árboles que están colocados debajo o muy cerca de las líneas y estos a su vez crecen y hacen contacto, condiciones climáticas, etc.

### **Por su causa:**

La regulación 004/01 clasifica a las interrupciones según su causa en 2 grupos:

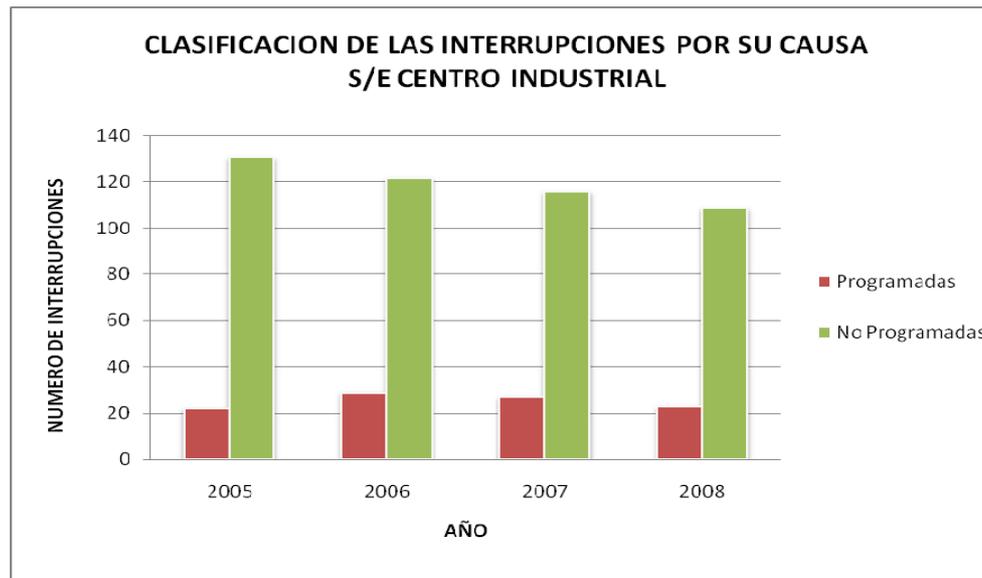
- a) Programadas.
  - Mantenimiento
  - Ampliaciones
  - Maniobras

- Otras
- b) No programadas (intempestivas, aleatorias o forzadas).
- Climáticas
  - Ambientales
  - Terceros
  - Red de alto voltaje (AV)
  - Red de medio voltaje (MV)
  - Red de bajo voltaje (BV)
  - Otras

La **Tabla 3.44** presenta la clasificación de las fallas por su causa S/E Centro Industrial, describe la cantidad de fallas totales ocurridas en los años 2005-2006-2007-2008 y las clasifica en Programadas y No Programadas.

Año	Programadas	No Programadas	Total
2005	22	131	153
2006	29	122	151
2007	27	116	143
2008	23	109	132

**Clasificación de las fallas por su Causa S/E Centro Industrial**  
**Tabla 3.44**



**Clasificación de las fallas por su origen S/E Centro Industrial  
Fig. 3.16**

En la **Figura 3.16** se observa que el número de interrupciones programadas es igual al número de interrupciones internas programadas de la clasificación anterior. Esto quiere decir, que las fallas ocurridas a nivel de generación y transmisión no han sido programadas.

Observe además que las fallas no programadas son ampliamente superiores a las programadas. Esto significa, que la frecuencia de fallas por caso fortuito es muy grande en comparación con interrupciones programadas ya sea por el generador, transmisor o distribuidor.

### **Por el voltaje nominal:**

La regulación 004/01 clasifica a las interrupciones según su voltaje nominal en 3 grupos:

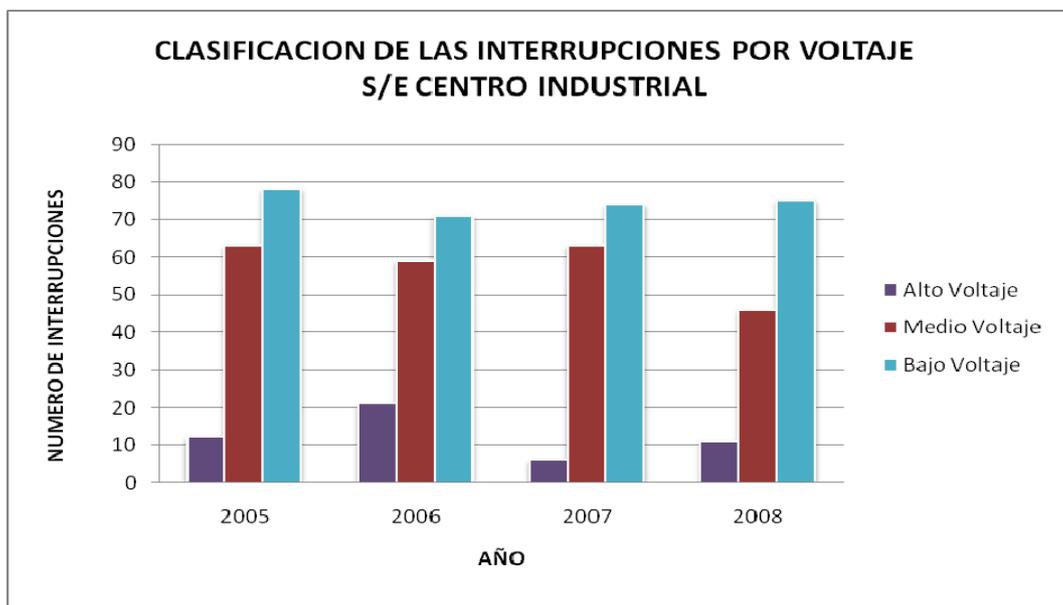
- a) Bajo voltaje
- b) Medio voltaje

## c) Alto voltaje

La **Tabla 3.45** presenta la Clasificación de las fallas por el Voltaje Nominal S/E Centro Industrial, describe la cantidad de fallas totales ocurridas en los años 2005-2006-2007-2008 y las clasifica en Alto Voltaje, Medio Voltaje y Bajo Voltaje, observándose que la mayor cantidad de interrupciones son de bajo voltaje mientras que las que ocurren con menos frecuencia son las de alto voltaje.

Año	Alto Voltaje	Medio Voltaje	Bajo Voltaje	Total
2005	12	63	78	153
2006	21	59	71	151
2007	6	63	74	143
2008	11	46	75	132

**Clasificación de las fallas por el Voltaje Nominal S/E Centro Industrial**  
Tabla 3.45



**Clasificación de las fallas por su origen S/E Centro Industrial**  
Fig. 3.16

En la **Figura 3.16** se puede observar que el número de interrupciones son mayores a nivel de bajo voltaje y van disminuyendo conforme el voltaje aumenta. Esto tiene mucho sentido ya que a medida que el voltaje se eleva los puntos de carga disminuyen y la confiabilidad aumenta.

En el **Anexo G** se encuentran todas las tablas con las estadísticas de fallas por año de la S/E Centro Industrial.

### **3.6. Evaluación de la confiabilidad**

El adecuado funcionamiento de la red de distribución de la Subestación Centro Industrial dependerá del tiempo de duración y la frecuencia de ocurrencia de las interrupciones. Para saber las condiciones de operación del sistema es necesario evaluar la confiabilidad del mismo en base al registro histórico de interrupciones. De esta forma se da paso a una serie de estimadores probabilísticos que están relacionados con los componentes del sistema y el tiempo de reposición del servicio.

Estos estimadores permitirán consecuentemente calcular los índices de confiabilidad del sistema, con lo cual se pretende estimar el funcionamiento de sus elementos y el tiempo de reparación de los mismos expuestos ante un posible disturbio.

Tales estimadores son los siguientes:

- Tasas de fallas de los Transformadores.
- Tasas de falla relacionada con la longitud.
- Fallas de los equipos de protección.

- Duración de la salida de servicio.
- Tiempo de switcheo.

### **Tasa de falla de los transformadores.**

Se entiende como tasa de falla de los transformadores la tasa de transición del estado en funcionamiento al estado fuera de servicio. Es decir este estimador indica el número de transformadores que han tenido alguna avería importante por año; entiéndase que esta avería provoca una falta de suministros a los clientes conectados al transformador dañado. Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\hat{\lambda} = \frac{m}{n \times T} \text{ (falla/año)} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde :

$\hat{\lambda}$  = Tasa de falla estimada

$m$  = Número de fallas observadas

$n$  = Número de unidades expuestas a la falla (población)

$T$  = Periodo de tiempo que las unidades fueron expuestas a la falla

La **Tabla 3.46** presenta el número de veces que falló el transformador por alimentadora, describe la cantidad de fallas totales ocurridas en un periodo de 48 meses, donde podemos notar que el número de interrupciones de transformares en la S/E Centro Industrial es moderado en comparación con el número total de los transformadores instalados.

<b>Transformadores por Alimentadora</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Pueblo Nuevo</b>	<b>La Reforma</b>	<b>Juján</b>	<b>TOTAL</b>
No. De Transformadores	170	301	258	729
Transformadores Fallados	2	2	1	5

**Numero de fallas en los Transformadores de la S/E Centro Industrial**  
**Tabla 3.46**

Para un periodo de 48 meses, la tasa de fallas de los transformadores es:

$$\hat{\lambda} = \frac{m}{n \times T} = \frac{5}{729 \left( \frac{48}{12} \right)} = 0.0017 \text{ (fallas/año)}$$

### **Tasa de falla relacionados con la longitud.**

Este estimador indica la probabilidad de que el sistema falle teniendo en cuenta la longitud o tramo del alimentador que está siendo afectado. Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\hat{\lambda} = b \times L$$

**Ecuación 7**

*Donde :*

$\hat{\lambda}$  = Tasa de falla estimada (fallas/año)

$L$  = Longitud de la Alimentadora

$b$  = factor de escala de la tasa de falla

La ecuación para el factor de escala es la siguiente:

$$b = \frac{m}{n \times T} \text{ (falla/Km - año)} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde :

$m$  = Número de fallas observadas

$n$  = Longitud total del componente expuesto a la falla

$T$  = Tiempo de la prueba

La **Tabla 3.47** presenta el número de veces que falló la línea primaria por alimentadora. Es importante mencionar que no existe diferencia alguna entre fallas en troncal y fallas en ramales, puesto que en los registros de fallas no se tiene esa clasificación (en los registros de CNEL cuando se habla de falla de línea no se especifica si fue en troncal y ramal). Por tal razón se saca una tasa de falla general para líneas.

El tiempo de análisis es de 48 meses.

<b>LONGITUD DE LAS ALIMENTADORAS</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Pueblo Nuevo</b>	<b>La Reforma</b>	<b>Jujan</b>	<b>TOTAL</b>
Líneas Trifásicas	27.556	23.129	28.790	79.475
Líneas Bifásicas	0.000	0.390	0.000	0.390
Líneas Monofásicas	4.710	6.626	58.267	69.603
<b>TOTAL</b>	<b>32.2660</b>	<b>30.1450</b>	<b>87.0572</b>	149.468
No. De Fallas	<b>Pueblo Nuevo</b>	<b>La Reforma</b>	<b>Juján</b>	<b>TOTAL</b>
<b>TOTAL</b>	67	17	61	145

Número de veces que fallo las líneas de las Alimentadoras S/E Centro Industrial  
Tabla 3.47

El factor de escala es el siguiente:

$$b = \frac{m}{n \times T} = \frac{145}{149.5 \left( \frac{48}{12} \right)} = 0.2 \text{ (falla/Km-año)}$$

### **Falla de los equipos de protección.**

Este estimador indica la tendencia de los equipos de protección a fallas, es decir estima la probabilidad de que el equipo de protección tenga una mala operación cuando se encuentre expuesto a un disturbio en el sistema. Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\hat{q} = \frac{k}{j + k} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde :

k = Número de operaciones inapropiadas (situación en que la operación de respaldo opera)

j = Número de operaciones correctas

Debido a que no se tiene registro alguno de los datos que se necesitan, se tuvo que acudir al documento "IEEE Working Group on System Design, Trial Use Guide for Power Distribution Reliability Indices, Report P1366, IEEE, 1998". El mismo menciona en su contenido que la probabilidad de falla de los equipos de

protección oscila entre 0.004 y 0.014; el valor escogido para el análisis es 0.009 que representa el promedio de los anteriores números.

### **Duración de la salida de servicio.**

El impacto de la falla de un componente en la disponibilidad del sistema es influenciado por los procedimientos operacionales.

- La restauración permanente de las funciones del sistema (sea separado o reemplazado el componente fallado).
- La restauración temporal (total o parcial) de las funciones del sistema a través de la reconfiguración del circuito (switcheo).

Los principales componentes de una duración de salida de servicio son:

- Tiempo de notificación.
- Tiempo de preparación de la cuadrilla.
- Tiempo de ubicación de la falla.
- Tiempo de viaje del switch.
- Tiempo de operación del switch.
- Tiempo de reparación del componente o remplazarlo.

Para daño de transformadores el tiempo de restauración de servicio, según datos proporcionados por linieros de la Empresa Eléctrica es de 6 horas. El tiempo de restauración para líneas de distribución primarias se presenta en la **Tabla 3.48**. Teniendo el mayor tiempo de restauración Jujan por ser una alimentadora que suministra energía a las zonas rurales y los accesos para las cuadrillas se les dificultad.

<b>Línea</b>				
Descripción	La Reforma 11 Km	Juján 32 Km	Pueblo Nuevo 27 Km	
Tiempo de Notificación	5	5	5	min
Tiempo de Preparación de la Cuadrilla	10	10	10	min
Tiempo de Ubicación de la Falla	20	70	40	min
Tiempo de Reparación del componente	40	40	40	min
<i>Total</i>	75	125	95	min

**Tiempo de restauración de las Líneas Primarias**  
**Tabla 3.48**

### **Tiempo de switcheo.**

La duración de los procedimientos temporales de restauración es referida como tiempo de switcheo.

Las actividades comunes que afectan los tiempos de restauración temporales son las siguientes:

- Notificación.
- Formación de la cuadrilla.
- Ubicación de la falla.
- Viajes entre switches.
- Operación manual de los switches.

En la **Tabla 3.49** se muestra una estadística con los tiempos utilizados para el switcheo según el personal de la Empresa Eléctrica CNEL, los tiempos son aproximados y de igual manera que el tiempo de restauración en el tiempo de

switcheo Juján es la que tendría mayor tiempo mientras que La Reforma tiene el menor tiempo por ser una alimentadora que suministra la energía a parte de la ciudad de Babahoyo.

<b>Línea</b>				
Descripción	La Reforma 11 Km	Juján 32 Km	Pueblo Nuevo 27 Km	
Tiempo de Notificación	5	5	5	min
Tiempo de Preparación de la Cuadrilla	10	10	10	min
Tiempo de Ubicación de la Falla	20	70	40	min
Tiempo de Abrir y Cerrar Switch	5	5	5	min
<i>Total</i>	45	90	60	min

**Tiempo de Switcheo en las Alimentadoras Centro Industrial**  
**Tabla 3.49**

### 3.7. Estudio de cortocircuito

En el presente sub-capítulo se explicará primero los pasos para el cálculo de parámetros necesarios en el estudio de cortocircuito para finalmente obtener valores de corrientes para la Subestación Centro Industrial.

#### Impedancias de las líneas

- Primero es necesario conocer los valores de impedancias de las líneas a las cuales se les va a realizar el estudio de cortocircuito. Por esa razón es imperioso realizar un levantamiento de las 3 alimentadoras de la subestación Centro Industrial. En ese levantamiento se toma en cuenta lo siguiente:

- ❖ Calibre del conductor (fase y neutro)
- ❖ Tipo de estructura (centrada o volada) y
- ❖ Elementos eléctricos tales como acometidas en alta, transformadores y bancos de capacitores.

Se realiza la identificación de tramos  $3\phi$ 's,  $2\phi$ 's y  $1\phi$ 's de conductor con su respectivo calibre. Una vez terminado el levantamiento se procede a realizar una base de datos y a graficar los planos utilizando el programa "Autocad"

- Luego con ayuda de la tabla 2-A del libro Transmission and Distribution de la Westinghouse se determina los parámetros de los conductores, tales como: resistencia y radio medio geométrico.

- Por último, se procederá a hallar la reactancia de la línea. Se tomará como base las distancia establecidas en el libro de INECEL que trata el diseño de líneas de 13.8KV.

A continuación se presentarán los tipos de conductor que se encontraron en las 3 alimentadoras de la subestación Centro Industrial durante el proceso de levantamiento.

}	<b>ACSR 3/0 Conductor de la Troncal</b>
	<b>ACSR #2 Usado para ramales trifásicos, bifásicos y monofásicos</b>

A continuación se presentarán los valores de resistencia y reactancia de los conductores de las alimentadoras de la Subestación Centro Industrial.

### Secuencia Positiva y Negativa

#### Resistencia

La **Tabla 3.50**, presenta los valores de resistencia de los conductores que se usaron en la construcción de las 3 alimentadoras de la Subestación Centro Industrial.

	<b>R [50°C]</b>	<b>R [50°C]</b>
<b>Calibre</b>	$\Omega$ /milla	$\Omega$ /Km
<b>3/0</b>	0,545	0,339
<b>2</b>	0,455	0,283

**Resistencia a 50°C**  
**Tabla 3.50**

Nota: Los valores de las resistencias por unidad de longitud fueron encontrados en la tabla 2-A del libro T&D de la Westinghouse.

### Reactancia

Luego de obtener los valores de resistencia se procedió a hallar los valores de reactancia que dependen de la geometría del conductor y del espaciamiento entre los mismos. Para esto se necesita encontrar los valores  $X_d$  y  $X_a$ :

$$X = X_d + X_a \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

$$X_d = 0.2794 * \log(DMG) [\Omega/\text{milla}] \quad \text{Ecuación 11}$$

$$X_a = 0.2794 * \log(1 / RMG) [\Omega/\text{milla}] \quad \text{Ecuación 12}$$

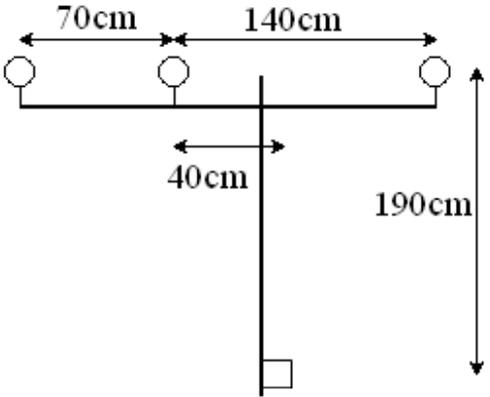
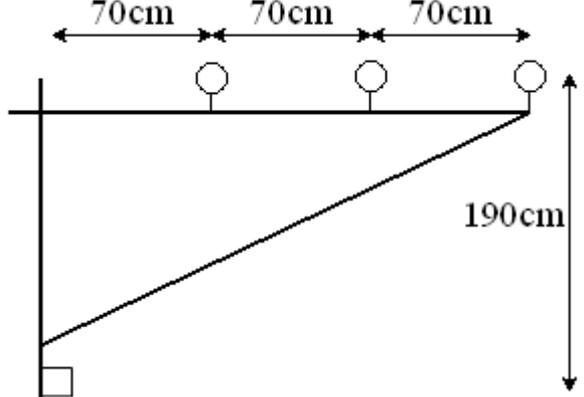
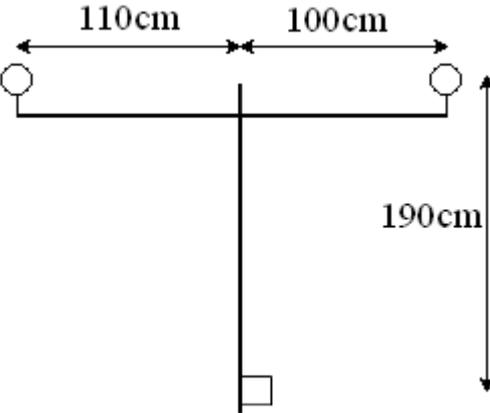
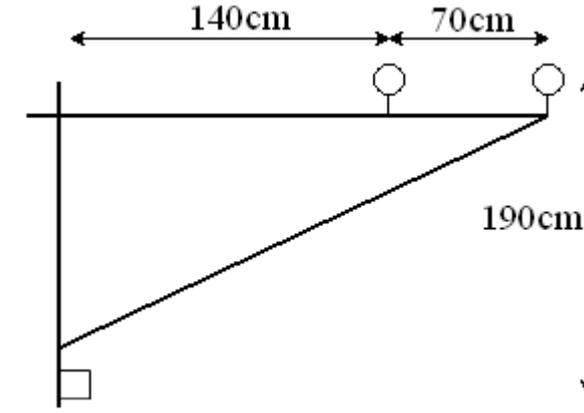
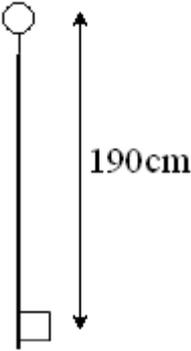
DMG = Distancia media geométrica entre los conductores de fases en pies [ft]

RMG = Radio medio geométrico del conductor de fase en pies.

Nota: El radio medio geométrico de cada conductor se obtiene de la tabla 2-A del libro del T&D de la Westinghouse.

### DMG

La distancia media geométrica o “deq” se la obtiene tomando en cuenta la siguiente disposición de los conductores que se muestra en la tabla que se muestra abajo:

<p>Ramal 3<math>\Phi</math> Cruceta Centrada</p> 	<p>Ramal 3<math>\Phi</math> Cruceta Volada</p> 
<p>Ramal 2<math>\Phi</math> Cruceta Centrada</p> 	<p>Ramal 2<math>\Phi</math> Cruceta Volada</p> 
<p>Ramal 1<math>\Phi</math></p> 	<p>Se puede observar las distancias entre conductores y la distancia hacia el neutro.</p> <p>Los círculos son las fases que pueden ser: "a, b o c"; el cuadrado es la posición del neutro "n"</p>

Disposición de los conductores para el análisis de cortocircuito  
Tabla 3.51

La **Tabla 3.52**, presenta las fórmulas usadas para el cálculo de la distancia media geométrica entre conductores:

Distancias medias geométricas			
	Tipo de Línea (neutro multiaterrizado)		
Cantidad	Trifásica	Dos Fases	Una Fase
$GMD_{\phi}$	$\sqrt[3]{d_{ab}d_{bc}d_{ca}}$	$d_{bc}$	$d_{an}$

**Distancia media geométrica de los conductores**  
**Tabla 3.52**

El cálculo de las componentes de reactancia  $X_a$  y  $X_d$  para cada conductor de las 3 alimentadoras de la subestación Centro Industrial se muestra en la **Tabla 3.53**.

	RMG	$X_a$	D eq		$X_d$	X	
	Ft	$\Omega$ /milla a 1Ft	m	Ft	$\Omega$ /milla	$\Omega$ /milla	$\Omega$ /Km
Circuito 3 Fases 3/0 Centrado	0.00600	0.621	1.272	4.173	0.173	0.794	0.494
Circuito 3 Fases 3/0 Volado	0.00600	0.621	0.882	2.894	0.129	0.750	0.466
Circuito 3 Fases # 2 Centrado	0.00418	0.665	1.272	4.173	0.173	0.838	0.521
Circuito 3 Fases # 2 Volado	0.00418	0.665	0.882	2.894	0.129	0.794	0.493
Circuito 2 Fases # 2 Centrado	0.00418	0.665	2.100	6.890	0.234	0.899	0.559
Circuito 2 Fases # 2 Volado	0.00418	0.665	0.700	2.297	0.101	0.766	0.476
Circuito 1 Fase # 2	0.00418	0.665	2.100	6.890	0.234	0.899	0.559

**Reactancia de los conductores de las Alimentadoras de la S/E Centro Industrial**  
**Tabla 3.53**

La ecuación general para el cálculo de impedancias de secuencia positiva y negativa queda como sigue:

$$Z = R_{\phi} + j0.2794 \frac{f}{60} \log \frac{GMD_{\phi}}{GMR_{\phi}} \left[ \frac{\Omega}{\text{millas}} \right] \quad \text{Ecuación 13}$$

### Secuencia Cero

Para la impedancia de secuencia cero se usaron las siguientes formulas:

$$Z_{oo} = R_{\phi} + 0.2867 \frac{f}{60} + j0.8382 \frac{f}{60} \log \frac{D_{\phi}}{\sqrt[3]{GMR_{\phi} \times GMD_{\phi}^2}} - \frac{3Z_{\phi n}^2}{Z_{NN}} \left[ \frac{\Omega}{\text{milla}} \right]$$

### Ecuación 14

donde:

$$Z_{NN} = R_N + 0.0954 \frac{f}{60} + j0.2794 \frac{f}{60} \log \frac{D_{\phi}}{GMR_N}$$

$$Z_{\phi N} = 0.0954 \frac{f}{60} + j0.2794 \frac{f}{60} \log \frac{D_{\phi}}{GMD_{\phi N}}$$

$$D_{\phi} = 2160 \sqrt{\frac{\rho}{f}} f$$

$R_{\phi}$  = Resistencia del conductor de fase en [ $\Omega$ /milla]

$f$  = Frecuencia nominal del sistema en Hertz

$\rho$  = valor promedio de resistividad de la tierra, ohmios-metros, de la ruta del circuito. Si no se dispone del valor, se asume un valor de 100.

$GMD_{\Phi n}$  = Distancia media geométrica entre los conductores de fases y el conductor del neutro en pies.

$GMR_n$  = Radio medio geométrico del conductor del neutro en pies.

$R_n$  = Resistencia del conductor neutro en [ $\Omega$ /milla]

En la **Tabla 3.54** se mostrarán las fórmulas usadas para el cálculo de la distancia media geométrica relacionadas al neutro:

Distancias medias geométricas			
	Tipo de Línea (neutro multiterrizado)		
Cantidad	Trifásica	Dos Fases	Una Fase
$GMD_{\Phi n}$	$\sqrt[3]{d_{an}d_{bn}d_{cn}}$	$\sqrt[2]{d_{bn}d_{cn}}$	$d_{an}$

**Distancias medias Geométricas relacionadas al Neutro**  
**Tabla 3.54**

Los valores de impedancia de secuencia cero para los diferentes conductores con los tipos de circuito se muestran en la **Tabla 3.55**.

	Roo		Xoo	
	$\Omega$ /milla	$\Omega$ /Km	$\Omega$ /milla	$\Omega$ /Km
Troncal Centrada	0.760	0.472	2.866	1.781
Troncal Volada	0.747	0.464	2.967	1.844
Circuito 3 Fases 3/0 Centrado	1.309	0.813	2.950	1.834
Circuito 3 Fases 3/0 Volado	1.292	0.803	3.049	1.895
Circuito 3 Fases # 2 Centrado	2.339	1.454	3.018	1.875
Circuito 3 Fases # 2 Volado	2.321	1.442	3.114	1.935
Circuito 2 Fases # 2 Centrado	2.334	1.451	2.898	1.801
Circuito 2 Fases # 2 Volado	2.309	1.435	3.174	1.973
Circuito 1 Fase # 2	2.339	1.453	2.896	1.800

**Impedancias de Secuencia Cero para las configuraciones dadas  
Tabla 3.55**

## **Impedancia del transformador**

Una vez que se obtiene los valores de impedancia de línea, tanto de secuencia positiva, negativa y cero, se procede a hallar el valor de impedancia de secuencia del transformador.

### **Secuencia Positiva y Negativa**

Para determinar la impedancia de secuencia positiva del transformador de la subestación Centro Industrial en ohmios referida al secundario, se necesita conocer los siguientes valores:

$KV_s$  = Voltaje fase – fase, en KV, nominal del transformador en el lado secundario del transformador trifásico.

$MVA_T$  = Capacidad nominal (OA) del transformador trifásico en MVA.

$KW_{NL}$  = Pérdidas sin carga del transformador trifásico en KW.

$KW_{TOT}$  = Pérdidas totales del transformador trifásico en KW cuando está entregando la salida nominal (OA).

$Z_{T\%}$  = Impedancia de fuga del transformador en porcentaje.

A continuación en la **Tabla 3.56** se muestran valores requeridos para el cálculo de impedancia del transformador.

Transformador			Pérdidas [KW]	
KV <sub>S</sub>	MVA <sub>T</sub>	Z%	KW <sub>TOT</sub>	KW <sub>NL</sub>
13.8	10	5,9	54	12,5

**Datos para los cálculos de la impedancia de Secuencia del Transformador**  
**Tabla 3.56**

Para el cálculo de impedancias se usará la siguiente fórmula:

$$Z_{1T} = \frac{KV_S^2}{MVA_T} \left[ \frac{KW_{TOT} - KW_{NL}}{1000MVA_T} + j \sqrt{\left(\frac{Z_{T\%}}{100}\right)^2 - \left(\frac{KW_{TOT} - KW_{NL}}{1000MVA_T}\right)^2} \right] \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde  $Z_{1T}$  es la impedancia de secuencia positiva del transformador. La impedancia de secuencia negativa toma el mismo valor de la positiva.

De acuerdo a los cálculos, en la **Tabla 3.57** se muestran los valores de impedancia de secuencia positiva y negativa referida al secundario del transformador de la subestación Centro Industrial.

Z1 Real secundario	
R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )
0,042013	0,775435

**Impedancia de Secuencia Positiva del Transformador**  
**Tabla 3.57**

### Secuencia Cero

El transformador de poder de la subestación Alborada tiene una conexión Delta – Y aterrizado y para hallar la impedancia de Secuencia Cero en  $\Omega$  referida al lado secundario se utiliza la siguiente fórmula:

$$Z_0 = K_1 Z_{1T} + 3Z_N \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

$Z_N$  = Impedancia del neutro en ohmios

$K_1 = 1.0$  para banco de transformadores (3 unidades)

$K_1 = 0.9$  para un transformador trifásico con núcleo de tres piernas. Este es un valor aproximado. Los valores actuales pueden variar considerablemente dependiendo del diseño del transformador.

Puesto que el transformador de poder de la subestación Centro Industrial está sólidamente aterrizado no se tomará en cuenta el valor de  $Z_N$ , por lo tanto, el segundo término de la ecuación mostrada anteriormente se elimina.

Ahora, el valor de la constante  $k_1$  será 0.9 puesto que el transformador de poder de la subestación que está siendo analizada es trifásico.

De acuerdo a los cálculos, en la **Tabla 3.58** se muestra el valor de impedancia de secuencia cero referida al secundario del transformador de la subestación Centro Industrial.

Zo Real secundario	
R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )
0.037812	0.697891

**Impedancia de Secuencia Cero del Transformador**  
**Tabla 3.58**

### **Cálculo de impedancia de secuencias para el sistema aguas arriba del transformador de poder.**

Una vez hallado todos los valores de impedancias es necesario y fundamental considerar la impedancia que tiene el circuito antes de los terminales primarios de nuestro transformador de poder.

Con referencia al diagrama unifilar, el sistema que provee la potencia del lado de alto voltaje o primario del transformador de poder de la subestación puede ser representado por una impedancia Thevenin en ohmios referida al lado secundario tanto para la red de secuencia positiva como para la red de secuencia cero.

## Secuencia Positiva y Negativa

Si el sistema que alimenta el lado primario de la subestación de distribución es definido en términos de los MVA de falla trifásica, factor de potencia, y la corriente disponible de una falla franca a tierra, las impedancias de secuencia del sistema primario en ohmios referidos al lado secundario son:

$$Z_{1P} = \frac{KV_S^2}{MVA_{3P}} \left[ PF_{3P} + j\sqrt{1 - PF_{3P}^2} \right] \left[ \frac{KV_{3P}}{KV_P} \right]^2 \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

$KV_S$  = Voltaje fase – fase nominal del transformador en KV en el lado secundario del transformador.

$KV_P$  = Voltaje fase – fase nominal del transformador en KV en el lado primario del transformador.

$MVA_{3P}$  = Capacidad de falla trifásica disponible en MVA en los terminales primarios del transformador de la subestación.

$KV_{3P}$  = Voltaje fase – fase del sistema primario usado como la base en calcular  $MVA_{3P}$ . Usualmente este es el mismo que  $KV_P$ .

$PF_{3P}$  = Factor de potencia de la corriente de falla trifásica disponible en los terminales primarios; es igual a  $\cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{x}{r}\right)\right)$  donde  $\frac{x}{r}$  es la relación de impedancias del sistema.

El cálculo de la impedancia de secuencia positiva y negativa para el sistema aguas arriba del transformador de poder se muestra en la [Tabla 3.59](#).

Falla Lado primario				Transformador		$Z_{1P}$ del sistema	
MVAcc 3 $\Phi$	KV <sub>3p</sub>	x/r	FP	(KVp)	(KV <sub>s</sub> )	R	X
391	68.8	15	0.06651901	67	13.8	0.03416288	0.51244319

**Impedancia de Secuencia del Transformador Aguas Arriba**  
**Tabla 3.59**

### Secuencia Cero

La impedancia de secuencia cero no se la necesita para el análisis de falla debido a que tenemos una conexión DELTA-ESTRELLA (aterrizado), por esta razón al momento de analizar los circuitos de secuencia esta impedancia queda aislada.



**Circuito de secuencia cero para transformador Delta-Estrella**  
**Fig. 3.17**

En la figura de arriba se muestra la razón por la cual el circuito de impedancia de secuencia cero queda aislado en el lado de la fuente del transformador, por lo tanto la exclusión de este valor de impedancia no afectará el análisis de corto circuito a nivel de 13.8 KV.

## Análisis de falla

Una vez obtenido los parámetros necesarios, se procederá a hallar todas las corrientes de fallas para cada uno de los puntos más relevantes de las 4 alimentadoras de la subestación Alborada, con la finalidad de obtener valores máximos y mínimos que me permitan verificar si la coordinación actual es la correcta y para hacer mejoras que se requieran.

Para eso se utilizan las siguientes fórmulas:

### Corriente de falla trifásica

Magnitud de corriente en las tres fases

$$|If_{3\phi}| = \left| \frac{V_{pf}}{Z_1} \right|$$

**Ecuación 18**

### Corriente de falla línea a tierra

Magnitud de corriente en la fase fallada y el neutro

$$|If_{1\phi}| = \left| \frac{3 * V_{pf}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \right|$$

**Ecuación 19**

### Corriente de falla línea a línea

Magnitud de corriente en las dos fases falladas

$$|I_{L-L}| = \left| \pm j \frac{\sqrt{3} * V_{pf}}{Z_1 + Z_2} \right|$$

Ecuación 20

### Corriente de falla dos fases a tierra

Magnitud de corriente en una fase fallada

$$|I_{2\phi}| = \left| -j\sqrt{3}V_{pf} \frac{Z_0 + 3Z_f - aZ_2}{Z_1Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_f)} \right|$$

Ecuación 21

Magnitud de corriente en la otra fase fallada

$$|I_{2\phi}| = \left| +j\sqrt{3}V_{pf} \frac{Z_0 + 3Z_f - a^2Z_2}{Z_1Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_f)} \right|$$

Ecuación 22

Magnitud de corriente que circula en el neutro

$$|I_{2\phi}| = \left| \frac{3V_{pf}}{Z_1 + Z_2 \parallel Z_0} \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0} \right|$$

Ecuación 23

Donde

$I_{3\phi}$  Corriente de falla trifásica

$I_{1\phi}$  Corriente de falla monofásica

$I_{L-L}$  Corriente de falla línea a línea

$I_{2\phi}$  Corriente de falla dos fases a tierra

$Z_1, Z_2, Z_0$  Impedancias de secuencia positiva, negativa y cero

$V_{pf}$  Voltaje de Pre-falla

## Cálculo de las corrientes de falla de las 3 Alimentadoras

La localización de los puntos de las 3 alimentadoras de la subestación Centro Industrial en donde se efectuó el estudio completo de fallas se muestran en planos y los valores de corriente de falla en esos puntos se los muestran en tablas, todo esto lo puede encontrar en los Anexos D y F “Diagramas de las Alimentadoras” y “Cálculo Completo de Fallas”.

A continuación se mostrará el resumen del estudio de falla realizado a cada alimentadora. Se tomará en cuenta en este resumen el valor de corriente de falla máxima y mínima en una de las fases, a lo largo de toda la alimentadora. Los puntos de falla máxima y mínima no son necesariamente iguales.

La corriente de falla en la fase es la que se genera por todos los tipos de falla.

### Alimentadora La Reforma

La **Tabla 3.60** presenta los valores de corriente de falla de la Alimentadora La Reforma. En ella notamos que la corriente de falla máxima es de una fase a tierra

		Tipo
Máxima	4148,000	L-T
Mínima	3086,000	3 Ø

**Máxima Corriente de Falla Alimentadora La Reforma**  
**Tabla 3.60**

Como se puede apreciar la corriente de falla máxima en toda la alimentadora es menor a 8 KA.

### Alimentadora Juján

La **Tabla 3.61** presenta los valores de corriente de falla de la Alimentadora Juján. En ella notamos que la corriente de falla máxima es de una fase a tierra

		Tipo
Máxima	5315	L-T
Mínima	4104	3 Ø

**Máxima Corriente de Falla Alimentadora Juján**  
**Tabla 3.61**

También se observa que la corriente de falla mínima puesto que esta depende de la longitud y tipo de conductor que posea la troncal y sus correspondientes ramales, se puede notar que estos valores de corriente mínima son más grandes que el de la Alimentadora La Reforma; posiblemente esto se debe a que la alimentadora La Reforma posee ramales grandes que tienen una impedancia más alta que la troncal.

### Alimentadora Pueblo Nuevo

La **Tabla 3.62** presenta los valores de corriente de falla de la Alimentadora Pueblo Nuevo. En ella notamos que la corriente de falla máxima es de una fase a tierra

		Tipo
Máxima	4806	L-T
Mínima	498	3 Ø

**Máxima Corriente de Falla Alimentadora Pueblo Nuevo**  
**Tabla 3.62**

Ya se ha hecho un comentario acerca de lo que ocurre con las corrientes de falla máxima y se acota que de las 3 alimentadoras la que la Alimentadora Pueblo Nuevo es la que tiene la corriente de falla mas pequeña.

### **Perfil de corriente de falla de la troncal de las 3 alimentadoras de la subestación Centro Industrial**

Las alimentadoras de nuestro análisis son radiales, por lo tanto, la corriente para un tipo específico de falla es máxima cuando la falla ocurre cerca de la subestación y decrece a medida que el punto de falla se aleja de la subestación.

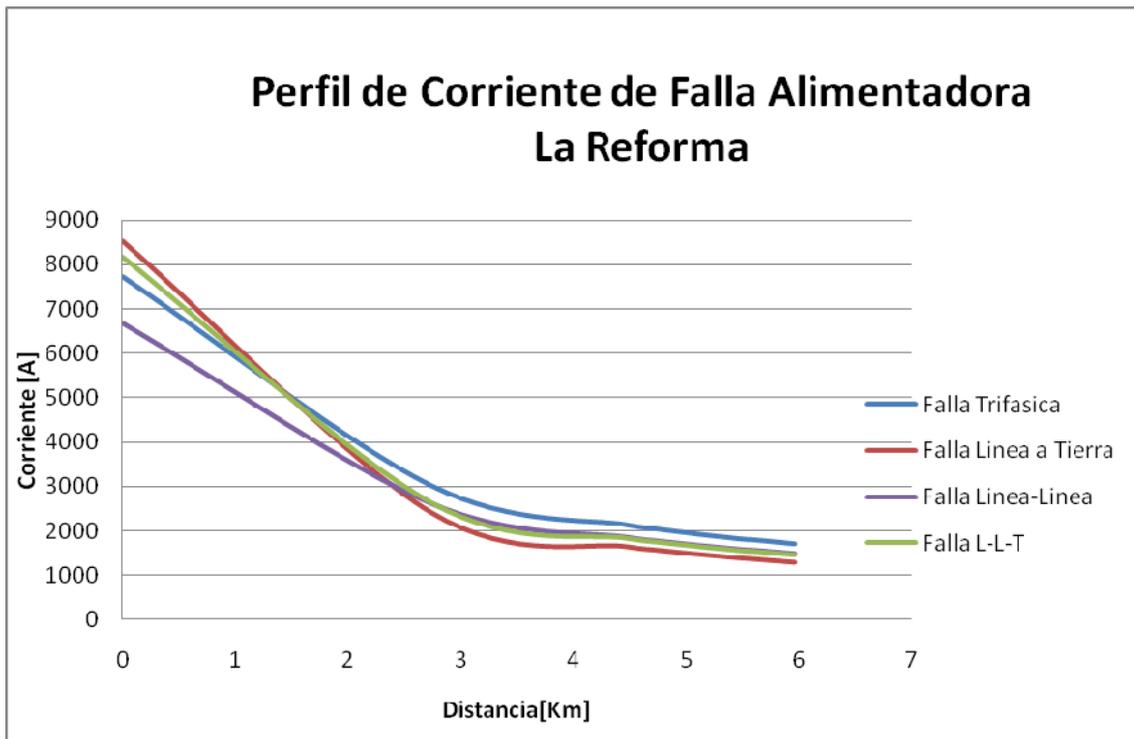
La curva de perfil de corriente de falla o gráfico de corriente de falla vs distancia provee información de gran utilidad para los estudios de coordinación de equipos de protección.

A continuación se mostrará los perfiles de corriente de las 3 alimentadoras de la subestación Centro Industrial.

#### **Alimentadora La Reforma**

La alimentadora La Reforma cuenta con una troncal corta, de varios ramales pequeños y unos grandes.

La **Figura 3.18** presenta los Perfiles de corriente de Falla de la Alimentadora La Reforma

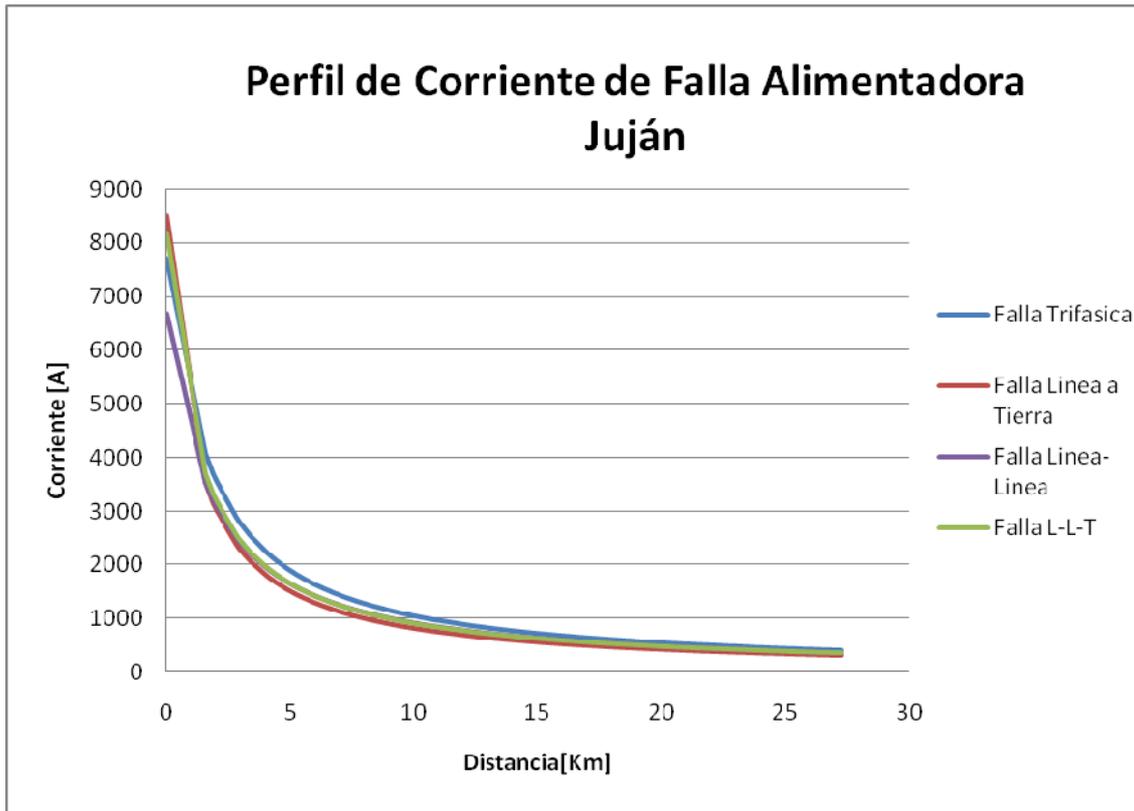


**Perfiles de corriente de Falla de la Alimentadora La Reforma  
Fig. 3.18**

### Alimentadora Juján

La alimentadora Juján cuenta con una troncal que sigue a lo largo de la vía Babahoyo-Guayaquil, además de varios ramales pequeños y uno grande.

La **Figura 3.19** presenta los Perfiles de corriente de Falla de la Alimentadora Juján.

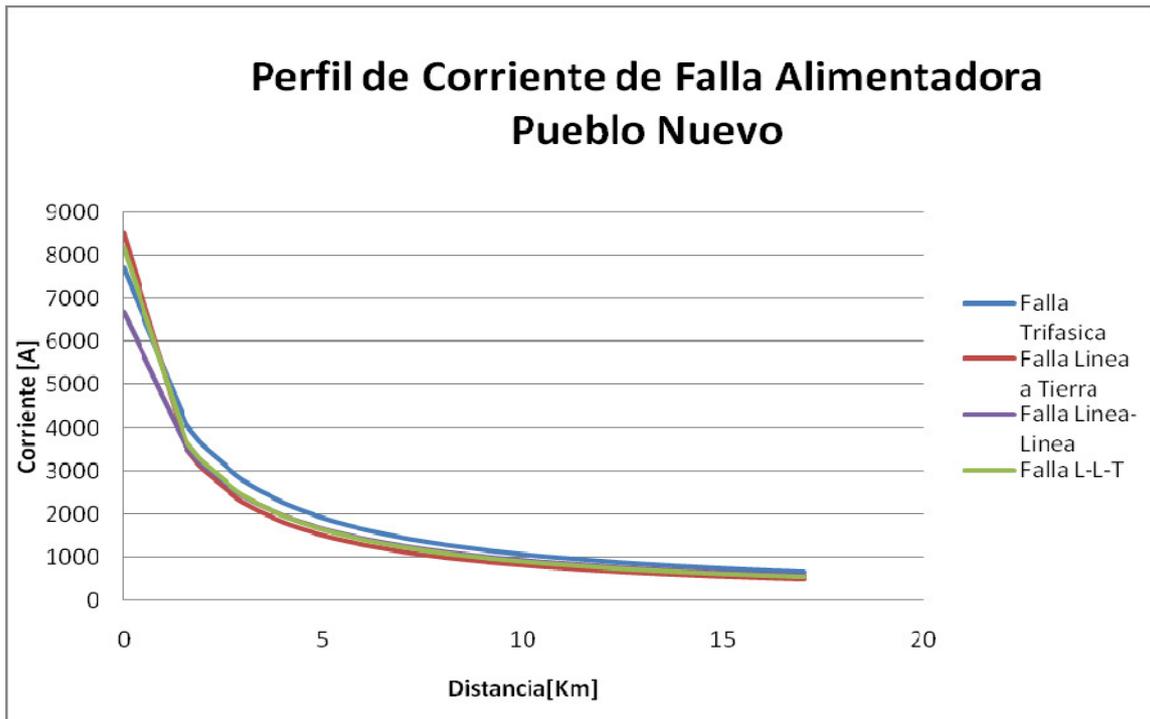


Perfiles de corriente de Falla de la Alimentadora Juján  
Fig. 3.19

### Alimentadora Pueblo Nuevo

La alimentadora Pueblo Nuevo cuenta con una troncal larga y de varios ramales pequeños.

La [Figura 3.20](#) presenta los Perfiles de corriente de Falla de la Alimentadora Pueblo Nuevo.



**Perfiles de corriente de Falla de la Alimentadora Pueblo Nuevo**  
**Fig. 3.20**

Como podemos observar en las [Fig. 3.18 – 3.19 – 3.20](#) los perfiles indican que la máxima corriente de falla se da con una fase a tierra fallada y la mínima con la trifásica esto a la salida de la S/E Centro Industrial, pero a medida que las alimentadoras se van alejando de la subestación la corrientes se invierten dando como resultado a final de la troncal una corriente máxima trifásica y mínima de una fase a tierra.

## **3.8. Reglamento vigente de la calidad**

### **Introducción**

El Consejo Nacional de Electricidad "CONELEC" dictó la norma regulatoria 004/01 denominada Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución, que entre otras cosas, permitirá garantizar a los Consumidores un suministro eléctrico continuo y confiable, bajo las regulaciones relacionadas con los estándares mínimos de calidad y procedimientos técnicos de medición y evaluación a los que deben someterse las Empresas Distribuidoras del Servicio Eléctrico.

### **Aspectos de Calidad**

La Calidad de Servicio según la regulación del CONELEC se medirá considerando los aspectos siguientes:

Calidad del Producto:

- a. Nivel de voltaje
- b. Perturbaciones de voltaje
- c. Factor de Potencia

Calidad del Servicio Técnico:

- a. Frecuencia de Interrupciones
- b. Duración de Interrupciones

Calidad del Servicio Comercial:

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

El objetivo de este estudio es medir la calidad del Servicio técnico de las tres alimentadoras de la Subestación Centro Industrial, por lo tanto, sólo se mencionarán los otros puntos que toca la regulación. La regulación completa se muestra en los anexos de esta tesis.

### **Calidad del Servicio Técnico**

La regulación 004/01 del CONELEC exige que para el cálculo de los índices de calidad de servicio técnico sólo se debe tomar en cuenta las interrupciones del sistema con duración mayor a tres (3) minutos, incluyendo las de origen externo, debidas a fallas en transmisión.

La norma se divide en dos etapas: La primera contempla índices de fallas ocurridas en las redes primarias de distribución y la segunda la calidad del servicio técnico se controlará al nivel de suministro a cada consumidor, en otras palabras se calcula un índice general para la primera etapa y un índice para cada consumidor en la segunda etapa.

Aunque la norma se la dictó ya hace varios años y el plazo para la primera etapa ha terminado, la CNEL aún se encuentra en esa etapa.

Los límites de la red sobre la cual se calcularán los índices de calidad son, por un lado el terminal del alimentador MV en la subestación AV/MV, y por el otro, los bornes BV del transformador MV/BV.

## Índices

Los índices de calidad se calcularán para toda la red de distribución y para cada alimentador primario de medio voltaje, de acuerdo a las siguientes expresiones:

- a. Frecuencia Media de Interrupción por KVA nominal Instalado (FMIK)

La siguiente fórmula representa la cantidad de veces que el KVA promedio sufrió una interrupción de servicio en un periodo determinado.

$$FMIK_{Rd} = \frac{\sum_i kVAfs_i}{kVA_{inst}} \quad \text{Ecuación 24}$$

- b. Tiempo Total de interrupción por kVA nominal Instalado (TTIK)

La siguiente fórmula representa el tiempo medio en que el KVA promedio no tuvo servicio en un periodo determinado

$$TTIK = \frac{\sum_i kVAfs_i * Tfs_i}{kVA_{inst}} \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

kVAfs<sub>i</sub>: Cantidad de kVA nominales fuera de servicio en cada una de las interrupciones "i".

KVAinst: Cantidad de kVA nominales instalados.

Tfs<sub>i</sub> : Tiempo de fuera de servicio, para la interrupción "i"

### Límites

La **Tabla 3.63**, presenta los límites de los índices de calidad del servicio técnico, aplicables durante la Subetapa 1 según la regulación 004/01 del CONELEC.

Índice	Lim FMIK	Lim TTIK
Red	4.0	8.0
Alimentador Urbano	5.0	10.0
Alimentador Rural	6.0	18.0

**Límites de los Índices de Calidad de Servicio Técnico**  
**Tabla 3.63**

### **Cálculo de los Índices de las 3 alimentadoras de la Subestación Centro Industrial**

El cálculo de los índices de calidad de servicio técnico se lo hace mensual. A continuación sólo se mostrarán los valores extremos de los Índices, estos son máximos, mínimos y promedio de cada año. Recuerde que:

FMIK: Frecuencia media de interrupción

TTIK: Tiempo total de interrupción

En las **Tabla 3.64 – 3.65 – 3.66** que se encuentran en la parte inferior de este texto, se muestran los valores máximo, y mínimo de los años 2005 al 2008.

Se observará que en todos los años los valores mínimos tienen el valor de cero para un análisis individual de cada alimentadora, esto indica que en por lo menos un mes de cada periodo no ocurrió ningún problema de falla de larga duración; en cambio en la tabla que muestra los valores mínimos para la subestación algunos de estos son distintos de cero esto se debe a que “si no ocurrió una falla en una alimentadora, ocurrió en otra”.

También se puede notar que el valor promedio es pequeño con respecto al máximo, esto se debe a que hubo muchos meses que no ocurrieron fallas de larga duración. Ahora el valor máximo durante el periodo de un año es un buen parámetro ya que me indica que en algún mes en especial ocurrieron efectos prolongados de falla y que ocurren con una cierta frecuencia. Cabe decir que los valores máximos y mínimos del FMIK y TTIK no son coincidentes, es decir, que no necesariamente ocurrieron en el mismo mes.

También se mostrarán gráficos de los valores máximos del FMIK y TTIK que como se mencionó antes dan una buena idea de los problemas que ocurren en cada alimentadora y en toda la subestación.

## Alimentadora La Reforma

La **Tabla 3.64** presenta los índices de calidad Servicio Técnico Alimentadora La Reforma

### Año 2005

	FMIK	TTIK
Máximo	0,91	2,97
Mínimo	0	0

### Año 2006

	FMIK	TTIK
Máximo	2,62	0,60
Mínimo	0	0

### Año 2007

	FMIK	TTIK
Máximo	3,92	5,78
Mínimo	0	0

### Año 2008

	FMIK	TTIK
Máximo	2,43	3,16
Mínimo	0	0

**Índices de Calidad de Servicio Técnico Alimentadora La Reforma  
Tabla 3.64**

La **Figura 3.21** presenta la Frecuencia Media de Interrupción del Alimentador La Reforma, muestra el FMIK para los años 2005-2006-2007-2008, obteniendo el mayor valor de FMIK en el año 2007 y el menor valor en el año 2005.



**Frecuencia Media de Interrupción Alimentadora La Reforma**  
Fig. 3.21

La **Figura 3.22** presenta el Tiempo Total de Interrupción de la Alimentadora La Reforma, muestra el TTIK para los años 2005-2006-2007-2008, obteniendo el mayor valor de TTIK en el año 2007 y el menor valor en el año 2006.



**Tiempo Total de Interrupción Alimentadora La Reforma**  
Fig. 3.22

Se puede observar que los valores máximos de FMIK y TTIK cumplen con los límites impuestos por el CONELEC, especialmente en el año 2006 se tuvo una considerable mejoría con respecto al año 2005.

### Alimentadora Juján

La **Tabla 3.65** presenta Índices de Calidad de Servicio Técnico de la Alimentadora Juján

#### Año 2005

	FMIK	TTIK
Máximo	2,92	2,26
Mínimo	0	0

#### Año 2006

	FMIK	TTIK
Máximo	2,26	1,28
Mínimo	0	0

#### Año 2007

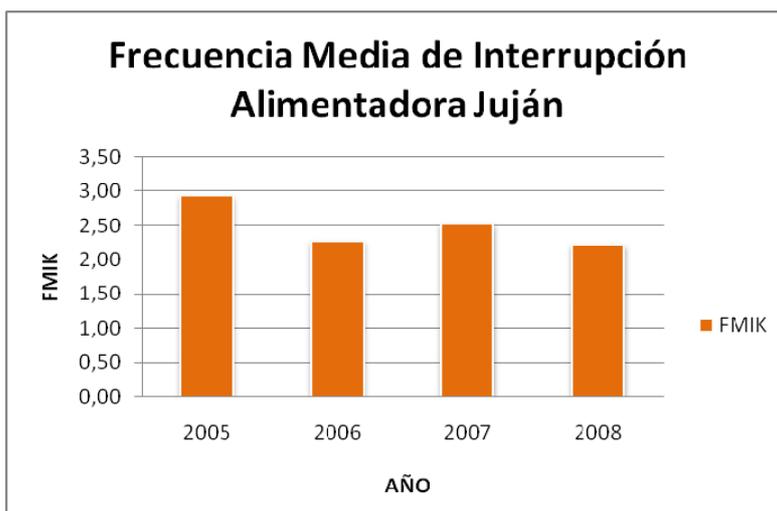
	FMIK	TTIK
Máximo	2,51	5,18
Mínimo	0	0

#### Año 2008

	FMIK	TTIK
Máximo	2,22	7,18
Mínimo	0	0

**Índices de Calidad de Servicio Técnico Alimentadora Juján**  
**Tabla 3.65**

La **Figura 3.23** presenta la Frecuencia Media de Interrupción de la Alimentadora Juján, muestra el FMIK para los años 2005-2006-2007-2008, obteniendo el mayor valor de FMIK en el año 2005 y el menor valor en el año 2008.



Frecuencia Media de Interrupción Alimentadora Juján  
Fig. 3.23

La **Figura 3.24** presenta el Tiempo Total de Interrupción Alimentadora Juján, muestra el TTIK para los años 2005-2006-2007-2008, obteniendo el mayor valor de TTIK en el año 2008 y el menor valor en el año 2006.



Tiempo Total de Interrupción Alimentadora Juján  
Fig. 3.24

Se puede observar que los valores máximos de FMIK y TTIK cumplen con los límites impuestos por el CONELEC. Además parece que para la Alimentadora Juján se está haciendo una aceptable labor para reducir la frecuencia y el tiempo de interrupción aunque en el 2005 los valores se incrementan especialmente en el FMIK.

### Alimentadora Pueblo Nuevo

La **Tabla 3.66** presenta los Índices de Calidad de Servicio Técnico Alimentadora Pueblo Nuevo

#### Año 2005

	FMIK	TTIK
Máximo	4,21	5,39
Mínimo	0	0

#### Año 2006

	FMIK	TTIK
Máximo	4,15	10,25
Mínimo	0	0

#### Año 2007

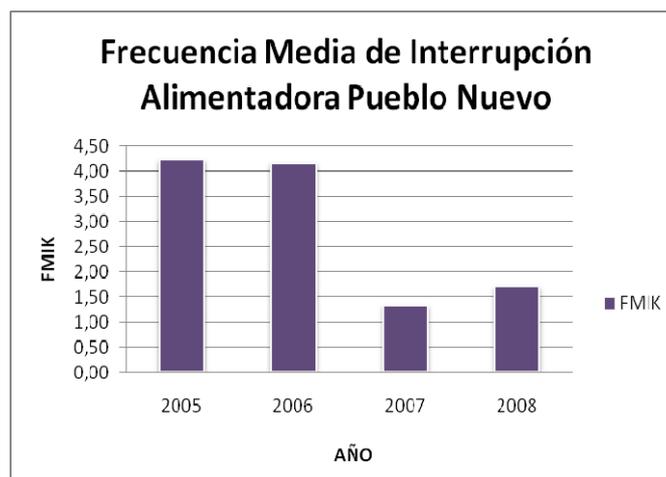
	FMIK	TTIK
Máximo	1,32	3,42
Mínimo	0	0

#### Año 2008

	FMIK	TTIK
Máximo	1,69	2,60
Mínimo	0	0

Índices de Calidad de Servicio Técnico Alimentadora Pueblo Nuevo  
Tabla 3.66

La **Figura 3.25** presenta la Frecuencia Media de Interrupción Alimentadora Pueblo Nuevo, muestra el FMIK para los años 2005-2006-2007-2008, obteniendo el mayor valor de FMIK en el año 2005 y el menor valor en el año 2007.



Frecuencia Media de Interrupción Alimentadora Pueblo Nuevo  
Fig. 3.25

La **Figura 3.26** presenta el Tiempo Total de Interrupción Alimentadora Pueblo Nuevo, muestra el TTIK para los años 2005-2006-2007-2008, obteniendo el mayor valor de TTIK en el año 2006 y el menor valor en el año 2008.



**Tiempo Total de Interrupción Alimentadora Pueblo Nuevo**  
**Fig. 3.26**

De igual manera se puede observar, que los valores máximos de FMIK y TTIK cumplen con los límites impuestos por el CONELEC. Además parece que para la Alimentadora Pueblo Nuevo se está haciendo una buena labor para reducir estos valores y eso se puede apreciar para en el 2007 y 2008.

En la [Tabla 3.67](#) se presenta la comparación de los índices FMIK y TTIK de Ecuador con otros países como son el caso de Chile y El salvador. En la que se observa que los límites de los índices son más amplios que los de Ecuador.

Índice	ECUADOR		CHILE		EL SALVADOR	
	Lim. FMIK	Lim. TTIK	Lim. FMIK	Lim. TTIK	Lim. FMIK	Lim. TTIK
<b>Red</b>	4,0	8,0	3.5-5	13-8	-	-
<b>Alimentador Urbano</b>	5,0	10,0	-	-	8	14
<b>Alimentador Rural</b>	6,0	18,0	-	-	14	30

**Límites de los FMIK y TTIK de otros Países**  
**Tabla 3.67**

En la **Tabla 3.68** se muestra la comparación de los FMIK y los TTIK de las Alimentadoras de la S/E centro Industrial con los índices de los países ya expuestos anteriormente.

URBANO	FMIK	TTIK
LA REFORMA	3,92	5,77
JUJAN	2,92	5,47
PUEBLO NUEVO	4,20	10,30
ESMERALDAS	1,5	1,01
CHILE	5	13
ECUADOR	5	10
EL SALVADOR	8	14

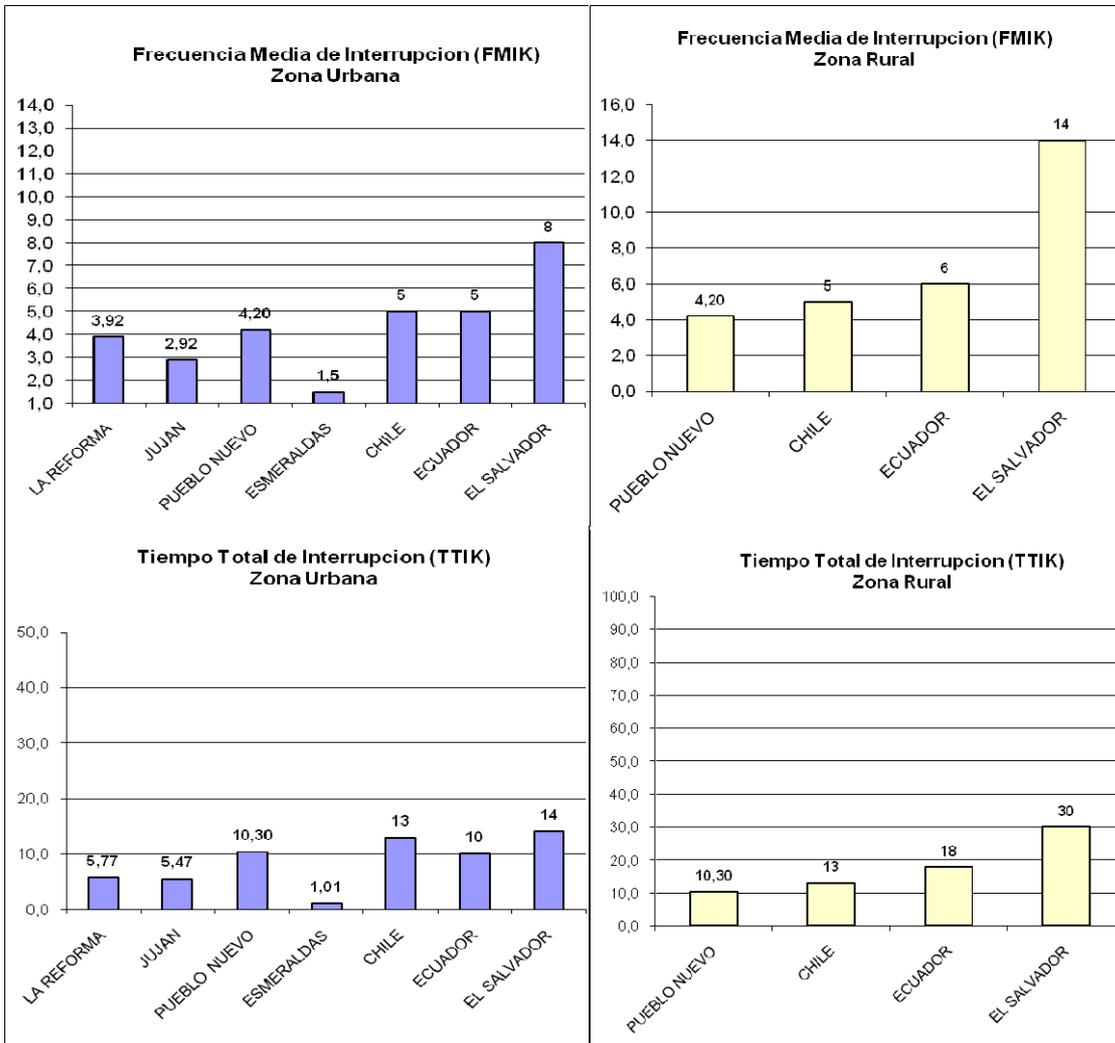
RURAL	FMIK	TTIK
LA REFORMA	3,92	5,77
JUJAN	2,92	5,47
PUEBLO NUEVO	4,20	10,30
CHILE	5	13
ECUADOR	6	18
EL SALVADOR	14	30

**Limites de los FMIK y TTIK de otros Países**  
**Tabla 3.68**

A continuación en la **Fig. 3.27** se presenta la comparación tanto para los índices en las zonas urbanas como rurales.

En ella podemos notar que la alimentadora La reforma, Juján y Pueblo Nuevo están dentro de los rangos según las normas de otros países y las del CONELEC mismo.

Algo que se debe notar es que se tienen índices para zonas urbanas y rurales siendo más altos en zonas rurales debido a muchas causas como lo es la vegetación cerca de las líneas y muchos factores que ocurren en el sistema por causa de las tormentas eléctricas.



Comparación de los Índices de Las Alimentadora de la S/E Centro Industrial  
 Fig. 3.68

**CAPÍTULO 4. Rediseño del sistema  
eléctrico de la Subestación Centro  
Industrial CNEC Los Ríos**

## 4.1 Determinación de parámetros de diseño

Como ya se mencionó anteriormente se tomarán en cuenta dos parámetros

Los cuales son:

Parámetros Técnicos: Índices de Confiabilidad

Parámetros Económicos: Costos de Interrupción e Inversión

### **Parámetros Técnicos (Índices de Confiabilidad)**

Los parámetros de diseño se los determinara por medio del cálculo de los índices de confiabilidad orientados al consumidor y orientados a la carga. El objetivo de estos índices es determinar el impacto de las interrupciones, por número, duración y severidad. Es importante mencionar que el cálculo de estos índices no podría ser posible sin el registro de las interrupciones, mismos que fueron tomados de los registros históricos de la CNEL Los Ríos.

Los índices de confiabilidad que se usan, se toman de la norma "IEEE 1366-1998, Guía para Índices de Confiabilidad en Sistemas de Distribución".

A continuación se procede a detallar cada uno de los índices de confiabilidad.

## Índices de funcionamiento orientados al consumidor

A continuación se presenta la descripción de cada uno de los parámetros involucrados en los cálculos de los Índices de confiabilidad.

$\lambda_i$  = Tasa de falla del elemento i, fallas o interrupciones/año

$r_i$  = Tiempo de reparación del elemento i, horas

$U_i$  = Indisponibilidad anual del elemento i, horas/año

$N_i$  = Usuario i atendido

$La_i$  = Carga promedio conectada al punto de carga.

**SAIFI** (Índice de frecuencia de interrupción promedio del sistema)

Define el número de veces promedio que un cliente es interrumpido durante un año por no más de 3 minutos. La interrupción del cliente se define como una interrupción por un cliente.

$$SAIFI = \frac{\text{NÚMERO DE INTERRUPCIONES A LOS USUARIOS}}{\text{NÚMERO TOTAL DE USUARIOS ATENDIDOS}}$$

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i}$$

**Ecuación 26**

**SAIDI** (Índice de la duración de interrupción promedio del sistema)

Define el tiempo total que un usuario no ha tenido servicio eléctrico debido a las interrupciones durante el periodo de un año.

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{SUMA DE LAS DURACIONES DE LAS INTERRUPCIONES}}{\text{NÚMERO TOTAL DE USUARIOS ATENDIDOS}}$$

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \quad \text{Ecuación 27}$$

**CAIDI** (Índice de la duración de interrupción promedio de consumidores)

Define la duración de una interrupción promedio por consumidor, de otra forma es la relación entre el SAIDI y el SAIFI.

$$\text{CAIDI} = \frac{\text{SUMA DE LAS DURACIONES DE LAS INTERRUPCIONES}}{\text{NÚMERO TOTAL DE USUARIOS AFECTADOS}}$$

$$CAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \lambda_i} \quad \text{Ecuación 28}$$

**ASAI** (Índice de la disponibilidad promedio del servicio)

Define el valor del número total de clientes por hora que fueron servidos durante un año en relación al total de clientes horas demandados (clientes horas = 24 horas/días x 365 días = 8760 horas)

$$ASAI = \frac{\text{CONSUMIDOR - HORAS DE SERVICIO DISPONIBLE}}{\text{CONSUMIDOR - HORAS DEMANDADAS}}$$

$$ASAI = \frac{\sum Ni \times 8760 - \sum Ui Ni}{\sum Ni \times 8760} \quad \text{Ecuación 29}$$

**ASUI** (Índice de indisponibilidad promedio del servicio)

$$ASUI = 1 - ASAI = \frac{\text{CONSUMIDOR - HORAS DE SERVICIO INDISPONIBLE}}{\text{CONSUMIDOR - HORAS DEMANDADAS}}$$

$$ASUI = \frac{\sum Ui Ni}{\sum Ni \times 8760} \quad \text{Ecuación 30}$$

**Índices de funcionamiento orientados a la carga**

**ENS** (Energía no suplida por el sistema)

$$ENS = \sum La_i U_i \quad \text{Ecuación 31}$$

$La_i$  = Carga promedio conectada al punto de carga.

**AENS** (Energía promedio no suplida o Índice de corte de energía)

$$AENS = \frac{\text{Energía total no suplida}}{\text{Numero total de consumidor afectado}}$$

$$AENS = \frac{\sum La_i U_i}{\sum N_i} \quad \text{Ecuación 32}$$

En el **Anexo H** se puede encontrar un “Ejemplo de cómo calcular los índices de confiabilidad orientados al consumidor en una alimentadora”, el cual sugerimos revisar para un mejor entendimiento del tema que se esta tratando.

### **Cálculo de los Índices de confiabilidad en las 4 alimentadoras**

En el sistema actual con que está funcionando la subestación Centro Industrial determinamos los índices de confiabilidad para cada una de las alimentadoras según procedemos a presentar a continuación en las **Tablas 4.1 a la 4.3**.

#### **Alimentadora La Reforma: Índices de Confiabilidad actuales**

<b>SISTEMA ACTUAL</b>	<b>La Reforma</b>	
<u>Saifi</u>	3,234910452	<u>Int/cons-año</u>
<u>Saidi</u>	4,329871475	<u>hrs/cons-año</u>
<u>Caidi</u>	1,338482638	<u>hrs/cons-int</u>
<u>Asai</u>	0,999505722	
<u>Asui</u>	0,000494278	
<u>Ens</u>	10,3766175	<u>Mwh/año</u>
<u>Aens</u>	1,976894788	<u>Kwh/cons-año</u>

**Índices de Confiabilidad Alimentadora La Reforma**  
**Tabla 4.1**

### Alimentadora Jujan: Índices de Confiabilidad actuales.

SISTEMA ACTUAL	Jujan	
Saifi	5,694116299	Int/cons-año
Saidi	10,93242337	hrs/cons-año
Caidi	1,91995084	hrs/cons-int
Asai	0,999542006	
Asui	0,001247994	
Ens	14,88609314	Mwh/año
Aens	14,68184705	Kwh/cons-año

Índices de Confiabilidad Alimentadora Juján  
Tabla 4.2

### Alimentadora Pueblo Nuevo: Índices de Confiabilidad actuales

SISTEMA ACTUAL	Pueblo Nuevo	
Saifi	6,961185205	
Saidi	10,61299295	hrs/cons-año
Caidi	1,524595688	hrs/cons-int
Asai	0,999788471	
Asui	0,001211529	
Ens	7,815208331	Mwh/año
Aens	9,021044004	Kwh/cons-año

Índices de Confiabilidad Alimentadora Pueblo Nuevo  
Tabla 4.3

De estos datos presentados en las **Tablas 4. 1, 4.2 y 4.3** podemos deducir que la alimentadora con el menor promedio de interrupciones por año el SAIFI, lo tiene la alimentadora La Reforma, mientras que la alimentadora Pueblo Nuevo tiene los mejores índices de SAIDI Y CAIDI respectivamente. Y la alimentadora con el mayor índice de Energía No Suministrada es la de La Reforma.

En la sección 4.4 precederos a analizar con mejor detalle cada uno de estos índices por alimentadora.

### **Parámetros Económicos en la toma de Decisiones**

En esta sección se determinará el costo de las interrupciones del sistema actual de la Subestación Centro Industrial, para lo que se mencionarán ciertos parámetros que no son considerados en el momento del cálculo de las interrupciones pero que afectan en gran porcentaje tanto al consumidor como al distribuidor, luego se planteará un método matemático de análisis para la evaluación de costos de interrupción versus los beneficios que proporcionaría la implementación de mejoras en el sistema. Una vez obtenidos estos valores se utilizarán como base en la sección 4.4 para el análisis de resultado técnico económico.

Los costos de interrupción sufridos tanto por el consumidor como la empresa distribuidora son parámetros muy difíciles de cuantificar, razón por la cual a continuación se presenta detalladamente una serie de situaciones que se deben tener en consideración.

Costo visto por la empresa.

- Pérdida de ingreso por la no-venta de energía.
- Pérdida de confianza de los consumidores.
- Pérdida de futuras ventas potenciales debido a reacción adversa.
- Incremento de gastos debido a reparación y mantenimiento.

Costo visto por el consumidor.

- Costos sufridos por la industria debido a la pérdida de manufactura, productos dañados, equipos dañados, mantenimiento extra, etc.
- Costo impuesto a los consumidores residenciales debido a alimento dañados, gasto en métodos alternativos de calentamiento y alumbrado, etc.
- Costos que son difíciles de cuantificar y que van desde los inconvenientes e imposibilidad de disfrutar los pasatiempos favoritos, hasta situaciones severas que pueden ocurrir durante las interrupciones; como: robos, asaltos, asesinatos, fallas en los servicios de hospitales, etc.

Los costos de interrupción son generalmente una función del tiempo de duración de la interrupción.

1. Costos que varían sobre un amplio rango.
2. Los costos dependen mucho del país de origen.
3. Los costos dependen del tipo de consumidor y son muy diferentes para una industria pequeña, una industria grande, tipo de industria, tipos de consumidores, residenciales, comerciales, agrícolas.
4. Los costos no son necesariamente una función lineal de la duración de la interrupción para un tipo de consumidor dado.

## Método de evaluación.

### Análisis Costo-Beneficio.

Asocia un costo con la carga interrumpida (L) y la energía no suplida (E). Se asume que los costos están asociados con los índices de confiabilidad ( $\lambda$ , r, U, L, E). Si se considera solo la carga y energía entonces el costo total anual es:

$$C_T = \sum_i C_{Li} \lambda_i L_i + \sum_i C_{ei} E_i + \sum_i C_{eu} E_i + C_r + C_m + C_s$$

### Ecuación 33

Donde

i= i-ésimo punto de carga o consumidor.

$C_{Li}$ = Costo al consumidor por kW de carga desconectada.

$C_{ei}$ = Costo al consumidor por kWh no suplido.

$C_{eu}$ = Pérdida de ingreso por kWh no suplido.

$L_i$ = Carga desconectada.

$E_i$ = Energía no suplida.

$C_r$ = Costos anualizados de las inversiones en los reforzamientos.

$C_m$ = Incremento de los costos anualizados de mantenimiento.

$C_s$ = Incremento en el costo anualizado de las pérdidas del sistema.

## Cálculo de los costos de Interrupción del sistema actual

Estos costos varían de acuerdo a cada país y existen varios estudios realizados para el cálculo de los mismos, a continuación se presentan tres diferentes tablas que se encontró al respecto:

	Cli \$/KW	Cei \$/KW-H	Ceu \$/KW-h
Residencial	1.109	2.300	0.093
Comercial	13.014	2.900	0.052
Industrial	12.611	2.900	0.052

**Costos de interrupción para el sistema eléctrico**  
**Tabla 4.4**

En esta tabla los datos del “Cli” son de un estudio hecho por la UMIST (University of Manchester Institute of Science and Technology) recogidos por el Ing. Jaime Guillermo Venegas Castro en su trabajo titulado “Metodologías de evaluación de costo de Fallas en Sistemas Eléctricos”.

El valor del “Cei” se lo tomó del documento CEARE 01-03 cuyo nombre es “Valor de la Confiabilidad en el Sistema Eléctrico-La Discusión Metodológica para su Determinación”

Finalmente el “Ceu” se lo obtiene de los datos del CONELEC en el documento: “Cargos Tarifarios para el Consumo Eléctrico de Clientes Regulados”.

	Cl <sub>i</sub>	Ce <sub>i</sub>	Ce <sub>u</sub>
	\$/KW	\$/KW-H	\$/KW-h
Residencial	1,109	2,3	0,093
Comercial	3,6	2,9	0,052
Industrial	4,7	2,9	0,052

**Costos de Interrupción**  
**Tabla 4.5**

EL costo de CEI se lo tomó del documento CEARE 01-03 cuyo nombre es “Valor de la Confiabilidad en el Sistema Eléctrico-La Discusión Metodológica para su Determinación”, el Costo CEU, al igual que en la tabla anterior, se lo obtiene de los datos del CONELEC en el documento: “Cargos Tarifarios para el Consumo Eléctrico de Clientes Regulados”.

	<b>Residencial/ Urbano</b>	<b>Comercial/ Urbano</b>
$Cl_i$	1.5	2.08
$Ce_u$	0,08	0,08
$Ce_i$	2	2,77

**Cargos Tarifarios para el Consumo Eléctrico**  
**Tabla 4.6**

Los valores de  $Cl_i$  y  $Ce_i$ , mostrados en la [Tabla 4.6](#), son resultados globales de acuerdo al EPRI (2001), y el  $Ce_u$  es considerado 0.08 US dólares por ser el valor del KWh en nuestro país sin impuestos.

Como se puede notar se presentan varios costos que coinciden en ciertos valores y en otros son diferentes para cada área de clientes, de estos se puede deducir que los que son menos perjudicados son los residenciales frente a los industriales y los comerciales son los más perjudicados por estas interrupciones.

Para efectos de nuestro estudio trabajaremos con la primera tabla mostrada basándonos en valores investigados en otras tesis realizadas en empresas ecuatorianas.

En cuanto a los costos por inversión es necesario tener en cuenta el tipo y la calidad de los materiales eléctricos que utilizaremos en las mejoras para cada alimentadora de la subestación Centro industrial.

### **Costos de materiales Eléctricos para el rediseño.**

Los valores que se presentan a continuación son una mezcla de los valores investigados en varias empresas comercializadoras de material eléctrico como Ecuacier, Ecuatran, Electroleg, Inproel y Electrocable entre otras y de los presupuestos de varios ingenieros contratistas que trabajan de manera independiente.

### **Costos de materiales Eléctricos para el rediseño.**

En la **Tabla 4.7** procederemos a dar un breve detalle de los costos de algunos materiales eléctricos que pueden ser utilizados para la reconfiguración del sistema.

Descripción		Precios		Manos de Obra	Total
Postes	9m	\$ 170.00		\$ 60.00	\$ 230.00
	11m	\$ 250.00		\$ 60.00	\$ 310.00
Conductor Costo por Km.		\$ 4,600.00		\$ 600.00	\$ 5,200.00
<b>Seccionador</b>					
Separador		\$ 8,176.50		\$ 230.00	\$ 8,406.50
De Transferencia		\$ 6,555.00		\$ 230.00	\$ 6,785.00
De Auto-Transferencia		\$ 6,555.00		\$ 230.00	\$ 6,785.00
Seccionalizador		\$ 13,742.50		\$ 230.00	\$ 13,972.50
FUSIBLE		Tirafusible	Caja		
6K		\$ 1.45	\$ 70.00	\$ 90.00	\$ 161.45
10K		\$ 1.60	\$ 70.00	\$ 90.00	\$ 161.60
15K		\$ 2.00	\$ 70.00	\$ 90.00	\$ 162.00
25K		\$ 2.50	\$ 70.00	\$ 90.00	\$ 162.50
45K		\$ 3.00	\$ 70.00	\$ 90.00	\$ 163.00
65K		\$ 3.80	\$ 70.00	\$ 90.00	\$ 163.80
100K		\$ 6.70	\$ 70.00	\$ 90.00	\$ 166.70
140K		\$ 10.00	\$ 70.00	\$ 90.00	\$ 170.00
200K		\$ 12.00	\$ 70.00	\$ 90.00	\$ 172.00
RECONECTADOR		\$ 9,200.00		\$ 250.00	\$ 9,450.00

**Cargos Tarifarios para el Consumo Eléctrico**  
**Tabla 4.7**

## Costos del Sistema Actual

En esta sección analizaremos los costos en que incurren tanto los consumidores como la empresa en la actualidad con la configuración existente del sistema mediante los índices de costos que se detallan a continuación en las Tablas 4.8, 4.9 y 4.10 para cada una de las alimentadoras de la subestación Centro Industrial. De acuerdo a la información de estas tablas la alimentadora con los mayores índices de costos para el consumidor es La Reforma, mientras que la que presenta el menor índice de costos para la empresa es la alimentadora Juján.

### Alimentadora La Reforma: Índices calculados con la configuración actual

SISTEMA ACTUAL	La Reforma	
Costos al Consumidor	$\Sigma Ci.\lambda$	\$ 43.715,32
	$\Sigma Ce_i$	\$ 36.246,60
Costos a la Empresa	$\Sigma Ceu.E$	\$ 779,51
Inversión	Cr	\$ 0,00
Mantenimiento	Cm	\$ 120,00
Perdidas	Cs	\$ 0,00
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 80.861,43</b>

Costos Totales Alimentadora La Reforma  
Tabla 4.8

### Alimentadora Juján: Índices calculados con la configuración actual

SISTEMA ACTUAL	Jujan	
Costos al Consumidor	$\Sigma Ci.\lambda$	\$ 37.097,30
	$\Sigma Ce_i$	\$ 43.169,67
Costos a la Empresa	$\Sigma Ceu.E$	\$ 774,08
Inversión	Cr	\$ 0,00
Mantenimiento	Cm	\$ 120,00
Perdidas	Cs	\$ 0,00
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 81.161,05</b>

Costos Totales Alimentadora Juján  
Tabla 4.9

## Alimentadora Pueblo Nuevo: Índices calculados con la configuración actual

SISTEMA ACTUAL	Pueblo Nuevo	
Costos al Consumidor	$\Sigma Ci.\lambda$	\$ 12.370,31
	$\Sigma Ce_i$	\$ 36.002,17
Costos a la Empresa	$\Sigma Ce_u.E$	\$ 1.450,06
Inversión	Cr	\$ 0,00
Mantenimiento	Cm	\$ 120,00
Perdidas	Cs	\$ 0,00
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 49.942,55</b>

Costos Totales Alimentadora Pueblo Nuevo  
Tabla 4.10

## 4.2 Rediseño del sistema de protecciones basado en la calidad del servicio

La confiabilidad del sistema actual puede ser mejorada colocando equipos de adicionales de protección y seccionamiento en sitios estratégicos de la línea de distribución o simplemente realizando ajustes a los equipos, arreglo de lo que existen actualmente para optimizar su funcionamiento. También se puede realizar una reingeniería de procesos para optimizar los tiempos de respuesta de atención del personal cuando ocurre una falla. A continuación se mostrarán las mejoras a los sistemas de protección, seccionamiento y transferencia que se le realizarán a cada una de las tres alimentadoras con la finalidad de mejorar los índices de calidad.

### Mejoras a las Alimentadoras

A continuación describimos cada uno de los casos que se aplicaron para mejorar el sistema de la Subestación Centro Industrial con una breve

descripción de las mejoras que se realizaron en cada caso y procederemos a tabular los resultados por alimentadora para finalmente realizar un análisis comparativo de cada una de las mejoras hechas al sistema para deducir cual es la más conveniente para cada alimentadora.

### Caso 1.- Mejora de tiempos de restauración y de reparación del servicio

Con la información que nos dieron varios ingenieros y el personal de líneas que trabajan en el área distribución de la empresa se elaboraron las **Tablas 4.11a y 4.11b** que se detallan a continuación.

#### Tiempos de Restauración

Línea	LA REFORMA	PUEBLO NUEVO	JUJAN	
Descripción				
Tiempo de Notificación	10	10	10	min
Tiempo de Preparación de la Cuadrilla	15	15	15	min
Tiempo de Ubicación de la Falla	20	30	60	min
Tiempo de Reparación del componente	35	35	40	min
<i>Total</i>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>125</b>	min

Tabla 4.11a

#### Tiempos de Switcheo

Línea	LA REFORMA	PUEBLO NUEVO	JUJAN	
Descripción				
Tiempo de Notificación	10	10	10	min
Tiempo de Preparación de la Cuadrilla	15	15	15	min
Tiempo de Ubicación de la Falla	20	30	60	min
Tiempo de Abrir y Cerrar Switch	5	5	5	min
<i>Total</i>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>90</b>	min

Tabla 4.11b

Con las **Tablas 4.11 a y 4.11b** se realizaron los cálculos para el caso actual del sistema.

En este caso se ha considerado seriamente realizar una reingeniería de procesos para mejorar el tiempo de respuesta del personal cuando existe una falla del sistema: esto es mejorar la comunicación entre los ingenieros a cargo del sistema y los trabajadores encargados de hacer las reparaciones, el arreglo y mantenimiento correctivo de los vehículos y el buen uso de las radios entre otros. Todo esto encaminado a mejorar los tiempos de restauración y Switcheo de una falla. Considerando estos puntos y con la asesoría de los ingenieros y personal técnico de la empresa se elaboró las **Tablas 4.12a y 4.12b** con los nuevos tiempos para usarlos en el Caso 1.

#### Tiempos de Restauración

Línea	LA REFORMA	PUEBLO NUEVO	JUJAN	
Descripción				
Tiempo de Notificación	5	5	5	min
Tiempo de Preparación de la Cuadrilla	10	10	10	min
Tiempo de Ubicación de la Falla	20	30	50	min
Tiempo de Reparación del componente	25	30	35	min
<i>Total</i>	<b>60</b>	<b>75</b>	<b>100</b>	min

Tabla 4.12a

#### Tiempos de Switcheo

Línea	LA REFORMA	PUEBLO NUEVO	JUJAN	
Descripción				
Tiempo de Notificación	5	5	5	min
Tiempo de Preparación de la Cuadrilla	10	15	15	min
Tiempo de Ubicación de la Falla	15	25	45	min
Tiempo de Abrir y Cerrar Switch	5	5	5	min
<i>Total</i>	<b>35</b>	<b>50</b>	<b>70</b>	min

Tabla 4.12b

Con estos valores se obtienen los nuevos índices de confiabilidad y de costos del sistema para el Caso 1 tal como se los describe en las **Tablas 4.13** hasta la **Tabla 4.18** a continuación.

### Alimentadora La Reforma: Índices de Confiabilidad y de Costos: Caso 1

<b>CASO 1</b>	La Reforma	
<b>Saifi</b>	2,31658857	Int/cons-año
<b>Saidi</b>	2,44886947	hrs/cons-año
<b>Caidi</b>	1,0571016	hrs/cons-int
<b>Asai</b>	0,99972045	
<b>Asui</b>	0,00027955	
<b>Ens</b>	9,55250624	Mwh/año
<b>Aens</b>	1,81988975	Kwh/cons-año

Índices de Confiabilidad Mejorados Caso 1 Alimentadora La Reforma  
Tabla 4.13

<b>CASO 1</b>	La Reforma	
Costos al Consumidor	$\Sigma\text{Cli.}\lambda$	<b>\$ 31.172,38</b>
	$\Sigma\text{Cei}$	<b>\$ 26.599,38</b>
Costos a la Empresa	$\Sigma\text{CeU.E}$	<b>\$ 572,09</b>
Inversión	Cr	<b>\$ 0,00</b>
Mantenimiento	Cm	<b>\$ 120,00</b>
Perdidas	Cs	<b>\$ 0,00</b>
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 58.463,85</b>

Costos Totales Mejorados Caso 1 Alimentadora La Reforma  
Tabla 4.14

### Alimentadora Juján: Índices de Confiabilidad y de Costos: Caso 1

<b>CASO 1</b>	Jujan	
<b>Saifi</b>	5,701113108	Int/cons-año
<b>Saidi</b>	9,620546905	hrs/cons-año
<b>Caidi</b>	1,687485711	hrs/cons-int
<b>Asai</b>	0,999601764	
<b>Asui</b>	0,001098236	
<b>Ens</b>	13,21332467	Mwh/año
<b>Aens</b>	7,132793588	Kwh/cons-año

Índices de Confiabilidad Mejorados Caso 1 Alimentadora Juján  
Tabla 4.15

<b>CASO 1</b>	Jujan	
Costos al Consumidor	$\Sigma$ Cli. $\lambda$	\$ 36.802,25
	$\Sigma$ Cei	\$ 38.318,64
Costos a la Empresa	$\Sigma$ Ceu.E	\$ 687,09
Inversión	Cr	\$ 0,00
Mantenimiento	Cm	\$ 120,00
Perdidas	Cs	\$ 0,00
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 75.927,98</b>

Costos Totales Mejorados Caso 1 Alimentadora Pueblo Juján  
Tabla 4.16

### Alimentadora Pueblo Nuevo: Índices de Confiabilidad y de Costos: Caso 1

<b>CASO 1</b>	Pueblo Nuevo	
<b>Saifi</b>	6,775062826	
<b>Saidi</b>	8,634788948	hrs/cons-año
<b>Caidi</b>	1,274495775	hrs/cons-int
<b>Asai</b>	0,999014293	
<b>Asui</b>	0,000985707	
<b>Ens</b>	6,126915171	Mwh/año
<b>Aens</b>	7,40239568	Kwh/cons-año

Índices de Confiabilidad Mejorados Caso 1 Alimentadora Pueblo Nuevo  
Tabla 4.17

<b>CASO 1</b>	Pueblo Nuevo	
Costos al Consumidor	$\Sigma$ Cli. $\lambda$	\$ 5.331,71
	$\Sigma$ Cei	\$ 14.091,90
Costos a la Empresa	$\Sigma$ Ceu.E	\$ 569,80
Inversión	Cr	\$ 0,00
Mantenimiento	Cm	\$ 120,00
Perdidas	Cs	\$ 0,00
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 20.113,41</b>

Costos Totales Mejorados Caso 1 Alimentadora Pueblo Nuevo  
Tabla 4.18

**Caso 2.- Colocar fusibles en ramales más extensos donde no existían**

En este diseño se pretende mejorar la confiabilidad del sistema colocando fusibles en las derivaciones o ramales que no los tienen. Los fusibles son de variadas capacidades a continuación se listarán los valores de esos fusibles.

Nota: En la Columna Ubicación hay números; estos números son los mismos que se usaron para el cálculo de voltajes y fallas. Así que se puede revisar en los anexos estos planos para ver su ubicación real. Lo que está con rojo es la mejora y lo azul es el sistema actual.

**Alimentadora La Reforma:** La tabla 4.19 muestra la ubicación con el número de poste de cada uno de los fusibles y su capacidad nominal respectiva. Los marcados con color rojo son los que se colocaron adicionalmente para el caso 2.

FUSIBLE	UBICACIÓN DEL FUSIBLE	TIPO
1	1	65K
2	2	65K
3	3	65K
4	5	65K
5	5,1	80K
6	5,4	30K
7	6a	40K
8	6b	65K
9	7	65K
10	8a	100K
11	8b	100K
12	8,1	30K
13	8,4	40K
14	9	25K
15	11	100K
16	14	65K
17	16	25K
18	19	30K
19	20	65K
20	20,1	25K
21	22,3	65K
22	23	65K
23	24	100K
24	25	65K
25	27	100K
26	27,1a	6K
27	27,1b	10K
28	28	20K

**Ubicación de los fusibles Caso 2 Alimentadora La Reforma  
Tabla 4.19**

Con estos cambios los nuevos índices de confiabilidad y costos de la Alimentadora La Reforma describen a continuación en las **Tablas 4.20 y Tabla 4.21.**

<b>CASO 2</b>	La Reforma	
<b>Saifi</b>	1,313797841	Int/cons-año
<b>Saidi</b>	1,317419632	hrs/cons-año
<b>Caidi</b>	1,002756734	hrs/cons-int
<b>Asai</b>	0,99984961	
<b>Asui</b>	0,00015039	
<b>Ens</b>	5,163666446	Mwh/año
<b>Aens</b>	0,98375268	Kwh/cons-año

**Índices de Confiabilidad Mejorados Caso 2 Alimentadora La Reforma**  
Tabla 4.20

<b>CASO 2</b>	La Reforma	
Costos al Consumidor	$\Sigma$ Cli.λ	<b>\$ 17.771,57</b>
	$\Sigma$ Cei	<b>\$ 14.375,73</b>
Costos a la Empresa	$\Sigma$ Ceu.E	<b>\$ 309,44</b>
Inversión	Cr	<b>\$ 0,00</b>
Mantenimiento	Cm	<b>\$ 120,00</b>
Perdidas	Cs	<b>\$ 0,00</b>
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 32.576,73</b>

**Índices de Costos Mejorados Caso 2 Alimentadora La Reforma**  
Tabla 4.21

**Alimentadora Juján:** La **Tabla 4.22** muestra la ubicación con el número de poste de cada uno de los fusibles y su capacidad nominal respectiva. Los marcados con color rojo son los que se colocaron adicionalmente para el caso 2.

FUSIBLE	UBICACIÓN DEL FUSIBLE	TIPO
1	1	25K
2	19	100K
3	34	40K
4	47	25K
5	1,b	30K
6	26	65K
7	27	25K
8	28a	65K
9	28b	65K
10	30	100K
11	31	40K
12	2	25K
13	3	65K
14	4	80K
15	48	65K
16	49	30K
17	35	140K
18	5	80K
19	37	100K
20	38	30K
21	6	80K
22	7	100K
23	41	50K
24	50	80K
25	84	40K
26	8	40K
27	9	25K
28	10	20K
29	47	65K
30	48	100K
31	11	80K
32	49	30K
33	51	25K
34	52	25K
35	13	30K
36	54	65K
37	57	25K
38	56	30K
39	66	65K

40	60	25K
41	62	15K
42	63a	30K
43	63b	30K
44	14	20K
45	68	6K
46	70	15K
47	15	15K
48	72	6K
49	16	6K
50	75	6K
51	17a	6K
52	17b	6K
53	17c	10K
54	17	10K
55	80	10K
56	82	10K
57	84	10K
58	86	80K
59	87	40K
60	89a	40K
61	89b	40K
62	91	15K
63	94a	40K
64	94b	25K
65	97	65K
66	99	80K
67	100	40K
68	103	100K
69	105	30K
70	107a	80K
71	107b	40
72	109	15
73	115	40
74	117	20
75	119	15
76	120	15
77	132	25
78	134	10
79	127	30

80	128	15
81	137	25K
82	139	25K
83	141	30
84	142	10
85	146	65K
86	148	80K
87	150	40K
88	152	15K
89	154	25K
90	156	15K
91	181	40K
92	179	15K
93	178	25K
94	27	30
95	21	10
96	22	65K
97	24	80K
98	166	40K
99	175	15K
100	174	25K
101	25	15K
102	168	40K
103	170	25
104	172	6
105	62	65K
106	65	100K
107	70	25K
108	71	15K
109	72	65K

**Ubicación de los fusibles Caso 2 Alimentadora Juján  
Tabla 4.22**

Con estos cambios los nuevos índices de confiabilidad y costos de la Alimentadora La Reforma describen a continuación en las **Tablas 4.23 y 4.24**.

CASO 2	Jujan	
Saifi	4,601478821	Int/cons-año
Saidi	6,905379043	hrs/cons-año
Caidi	1,500686912	hrs/cons-int
Asai	0,999605784	
Asui	0,000788285	
Ens	9,47003077	Mwh/año
Aens	5,869572187	Kwh/cons-año

Índices de Confiabilidad Mejorados Caso 2 Alimentadora Juján  
Tabla 4.23

CASO 2	Jujan	
Costos al Consumidor	$\Sigma$ Cli.λ	\$ 29.659,18
	$\Sigma$ Cei	\$ 27.463,09
Costos a la Empresa	$\Sigma$ Ceu.E	\$ 492,44
Inversión	Cr	\$ 0,00
Mantenimiento	Cm	\$ 120,00
Perdidas	Cs	\$ 0,00
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 57.734,71</b>

Índices de Costos Mejorados Caso 2 Alimentadora Juján  
Tabla 4.24

**Alimentadora Pueblo Nuevo:** La [Tabla 4.25](#) muestra la ubicación con el número de poste de cada uno de los fusibles y su capacidad nominal respectiva. Los marcados con color rojo son los que se colocaron adicionalmente para el caso 2.

FUSIBLE	UBICACIÓN DEL FUSIBLE	TIPO
1	1	65K
2	2	80K
3	3	140K
4	3,1	80K
5	4	100K
6	4,1	30K
7	5	80K
8	6	100K
9	6,1	50K
10	10	40K
11	11	25K
12	12	25K
13	13	30K
14	14	65K
15	15	25K
16	16	65K
17	17	65K
18	18	100K
19	19	6K
20	20	10K
21	21	20K
22	23	65K
23	24	100K
24	26	6K
25	27	20K
26	28	25K
27	29	25K
28	30	30K
29	31	65K
30	33	25K
31	34	30K
32	39	65K
33	40	25K
34	44	30K
35	45	65K
36	46	20K

Ubicación de los fusibles Caso 2 Alimentadora Pueblo Nuevo  
Tabla 4.25

Con estos cambios los nuevos índices de confiabilidad y costos de la Alimentadora La Reforma describen a continuación en las **Tablas 4.26 y 4.27**.

<b>CASO 2</b>	Pueblo Nuevo	
<b>Saifi</b>	6,020176818	
<b>Saidi</b>	6,031377778	hrs/cons-año
<b>Caidi</b>	1,00186057	hrs/cons-int
<b>Asai</b>	0,999311487	
<b>Asui</b>	0,000688513	
<b>Ens</b>	4,551460247	Mwh/año
<b>Aens</b>	5,126671111	Kwh/cons-año

**Índices de Confiabilidad Mejorados Caso 2 Alimentadora Pueblo Nuevo  
Tabla 4.26**

<b>CASO 2</b>	Pueblo Nuevo	
Costos al Consumidor	$\Sigma Ci.\lambda$	<b>\$ 5.038,20</b>
	$\Sigma Ce_i$	<b>\$ 10.468,36</b>
Costos a la Empresa	$\Sigma Ceu.E$	<b>\$ 423,29</b>
Inversión	Cr	<b>\$ 0,00</b>
Mantenimiento	Cm	<b>\$ 120,00</b>
Perdidas	Cs	<b>\$ 0,00</b>
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 16.049,84</b>

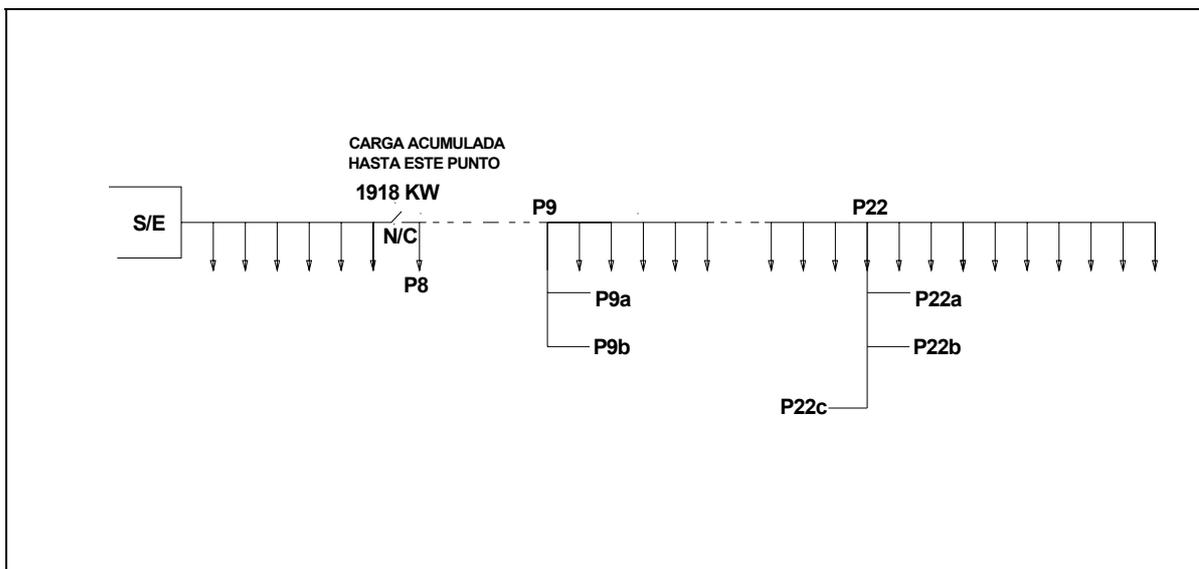
**Índices de Costos Mejorados Caso 2 Alimentadora Pueblo Nuevo  
Tabla 4.27**

### **Caso 3.- Adicionar Seccionadores y colocar fusibles en todos los ramales**

La mayor parte de las alimentadoras de la subestación Centro Industrial están distribuidas a lo largo de las carreteras por lo cual no se puede realizar una transferencia de carga ya que cada una se distribuye en un sentido diferente, por esta razón se ha realizado la implementación de un seccionador calculando el punto medio de la distribución de la carga alimentadora para ubicar allí el

seccionador respectivo. Además como existen muchos ramales monofásicos se ha procedido a ubicar fusibles también en cada uno de estos ramales.

**Alimentadora La Reforma:** La **Grafica 4.1** muestra la ubicación del seccionador y los ramales donde se ubicaron los nuevos fusibles con el número de poste respectivo.



**Grafica 4.1.- Esquema de nueva configuración: Caso 3**

Los resultados de esta mejora se presentan en la **Tabla 4. 28 y 4.29**

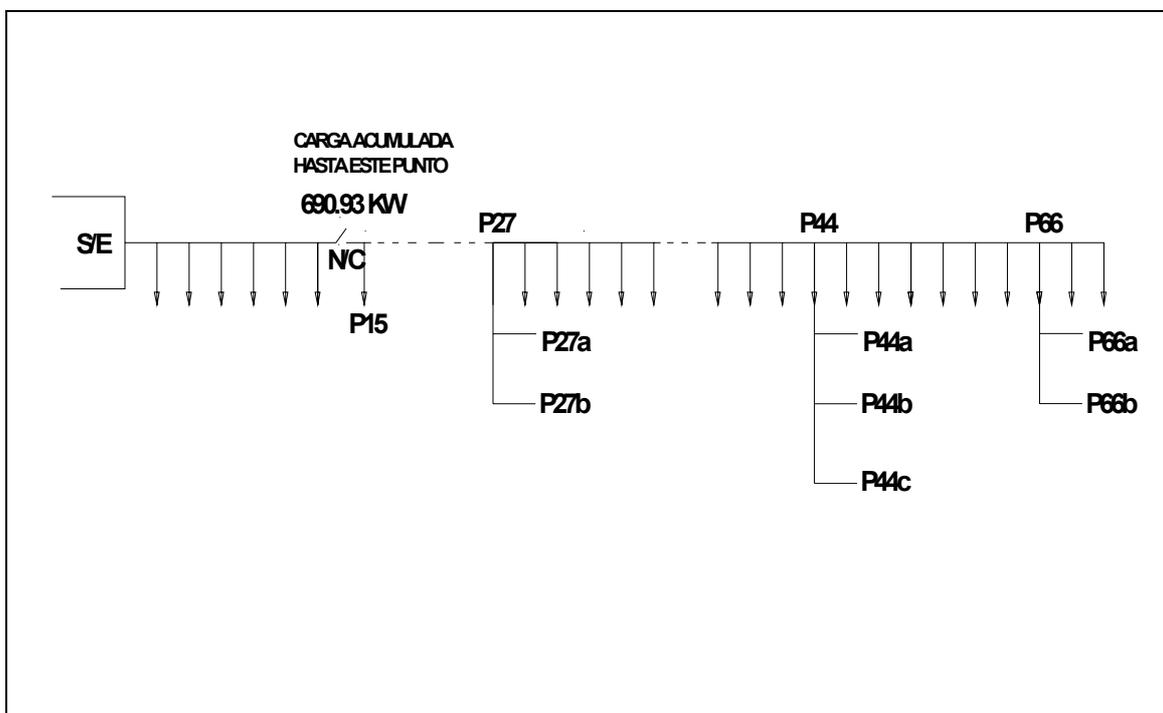
CASO 3	La Reforma	
Saifi	1,118569251	Int/cons-año
Saidi	0,919278713	hrs/cons-año
Caidi	0,821834421	hrs/cons-int
Asai	0,99989506	
Asui	0,00010494	
Ens	3,573188795	Mwh/año
Aens	0,680737054	Kwh/cons-año

**Índices de Confiabilidad Mejorados Caso 3 Alimentadora La Reforma**  
**Tabla 4.28**

CASO 3	La Reforma	
Costos al Consumidor	$\Sigma Ci.\lambda$	\$ 14.414,97
	$\Sigma Ce_i$	\$ 9.864,68
Costos a la Empresa	$\Sigma Ce_u.E$	\$ 219,81
Inversión	Cr	\$ 0,00
Mantenimiento	Cm	\$ 120,00
Perdidas	Cs	\$ 0,00
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 24.619,45</b>

Índices de Costos Mejorados Caso 3 Alimentadora La Reforma  
Tabla 4.29

**Alimentadora Juján:** La [Grafica 4.2](#) muestra la ubicación del seccionador y los ramales donde se ubicaron los nuevos fusibles con el número de poste respectivo.



Grafica 4.2.- Esquema de nueva configuración: Caso 3

Los resultados de esta mejora se presentan en la [Tabla 4. 30 y 4.31](#)

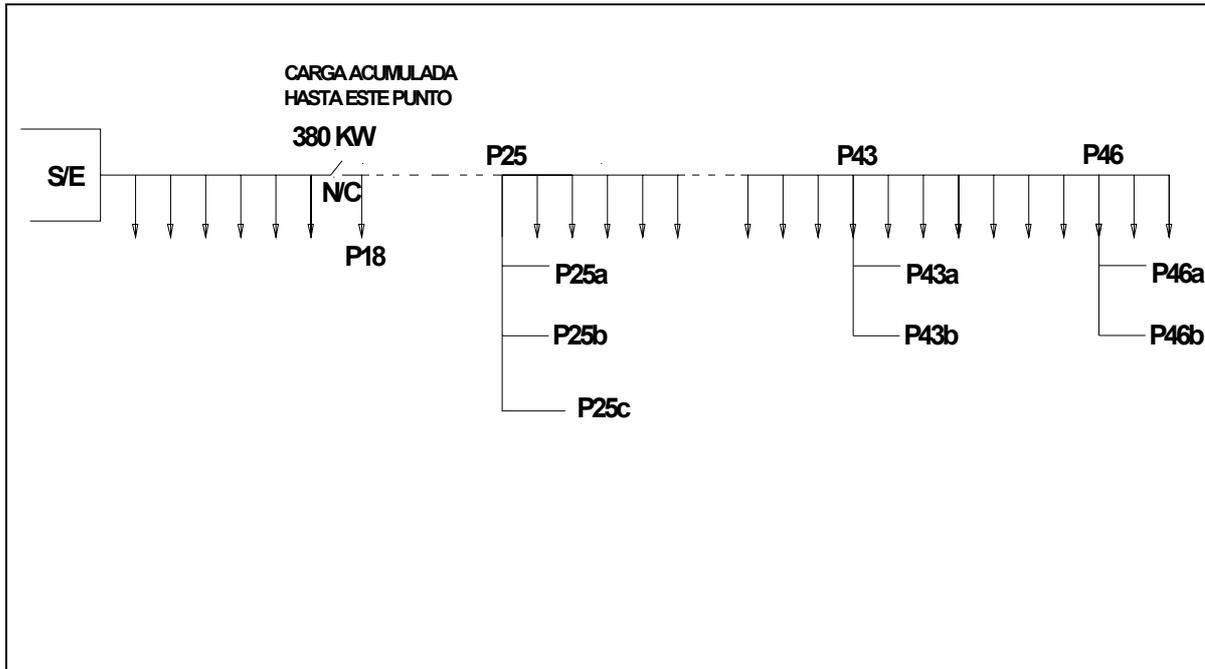
CASO 3	Juján	
Saifi	3,022619626	Int/cons-año
Saidi	3,029850458	hrs/cons-año
Caidi	1,00239224	hrs/cons-int
Asai	0,999654127	
Asui	0,000345873	
Ens	4,154827632	Mwh/año
Aens	2,581946731	Kwh/cons-año

Índices de Confiabilidad Mejorados Caso 3 Alimentadora Juján  
Tabla 4.30

CASO 3	Juján	
Costos al Consumidor	$\Sigma Ci.\lambda$	\$ 19.481,03
	$\Sigma Ce_i$	\$ 12.049,00
Costos a la Empresa	$\Sigma Ce_u.E$	\$ 216,05
Inversión	Cr	\$ 0,00
Mantenimiento	Cm	\$ 120,00
Perdidas	Cs	\$ 0,00
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 31.866,08</b>

Índices de Costos Caso 3 Alimentadora Juján  
Tabla 4.31

**Alimentadora Pueblo Nuevo:** La [Grafica 4.3](#) muestra la ubicación del seccionador y los ramales modificados con el número de poste donde se encuentra ubicado.



**Grafica 4.3.- Esquema de nueva configuración: Caso 3**

Los resultados de esta mejora se presentan en la [Tabla 4. 32 y 4.33](#):

CASO 3	Pueblo Nuevo	
Saifi	4,178158285	
Saidi	2,755482949	hrs/cons-año
Caidi	0,659497023	hrs/cons-int
Asai	0,999685447	
Asui	0,000314553	
Ens	2,079980566	Mwh/año
Aens	3,462306565	Kwh/cons-año

**Índices de Confiabilidad Mejorados Caso 3 Alimentadora Pueblo Nuevo  
Tabla 4.32**

CASO 3	Pueblo Nuevo	
Costos al Consumidor	$\Sigma Ci.\lambda$	\$ 3.383,61
	$\Sigma Ce_i$	\$ 4.783,96
Costos a la Empresa	$\Sigma Ce_u.E$	\$ 193,44
Inversión	Cr	\$ 0,00
Mantenimiento	Cm	\$ 120,00
Perdidas	Cs	\$ 0,00
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 8.481,01</b>

**Índices de Costos Caso 3 Alimentadora Pueblo Nuevo  
Tabla 4.33**

### 4.3 Resultados del Rediseño por alimentador

#### Presentación de resultados de los índices de confiabilidad.

En las siguientes tablas se mostrarán si mejoraron o no los índices de confiabilidad con cada una de las mejoras realizadas sobre el diseño del sistema de protección de cada una de las alimentadoras de la subestación Centro Industrial. También se mostrará los costos de interrupción, inversión así como la suma de los dos que es el costo total.

El orden será el siguiente por Alimentadora se mostrará primero los valores obtenidos de los índices de Confiabilidad orientados al consumidor y más abajo se mostrará los costos que acarrearán estas mejoras.

De la ecuación de costos, discutida en la sección 4.1, se la dividirá en dos componentes.

$$\text{Costos de interrupción: } \sum_i C_{li} \lambda_i L_i + \sum_i C_{ei} E_i + \sum_i C_{eu} E_i$$

$$\text{Costos de Inversión: } C_r + C_m + C_s$$

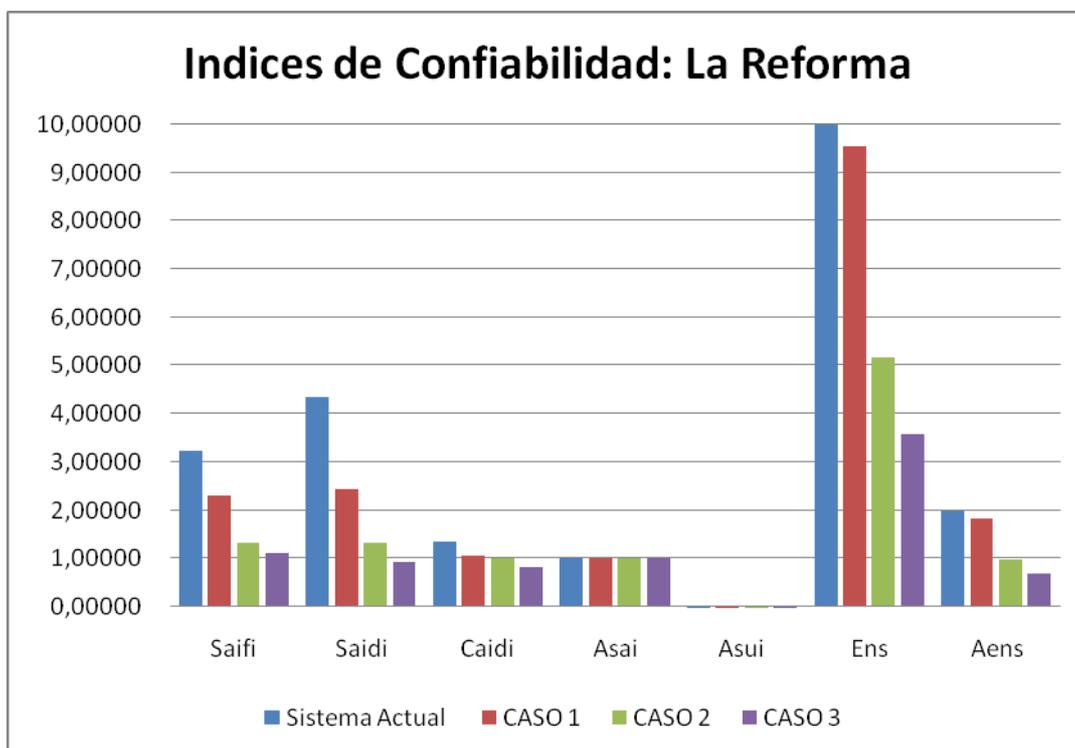
Los datos que se mostrarán en las tablas de costos se considerarán estas dos componentes.

A continuación presentamos las tablas de los índices de Confiabilidad de cada una de las alimentadoras con sus graficas respectivas con un análisis de cada caso.

### Alimentadora La Reforma: Índices de confiabilidad para cada caso

La Reforma	Sistema Actual	CASO 1	CASO 2	CASO 3
Saifi	3.23491045	2.316588569	1.313797841	1.118569251
Saidi	4.32987148	2.448869471	1.317419632	0.919278713
Caidi	1.33848264	1.057101595	1.002756734	0.821834421
Asai	0.99950572	0.999720449	0.99984961	0.99989506
Asui	0.00049428	0.000279551	0.00015039	0.00010494
Ens	10.3766175	9.55250624	5.163666446	3.573188795
Aens	1.97689479	1.819889746	0.98375268	0.680737054

Índices de Confiabilidad Alimentadora La Reforma  
Tabla 4.34



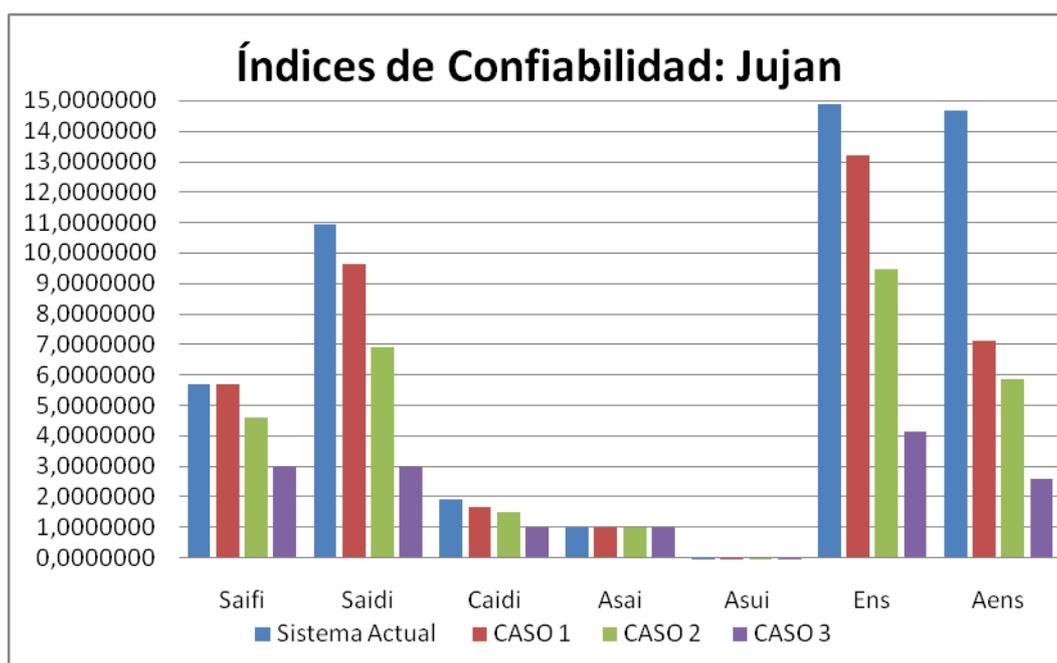
Índices de Confiabilidad Alimentadora La Reforma  
Gráfica 4.4

De la [Tabla 4.34](#) y de la grafica 3.5 se puede deducir que la mejor alternativa para el mejoramiento del sistema es la del caso 3 ya que presenta un 65 % de mejora del SAIFI, un 78% SAIDI y un 38% del CAIDI.

### Alimentadora Juján: Índices de confiabilidad para cada caso

Juján	Sistema Actual	CASO 1	CASO 2	CASO 3
Saifi	5.6941163	5.7011131	4.6014788	3.0226196
Saidi	10.9324234	9.6205469	6.9053790	3.0298505
Caidi	1.9199508	0.9989018	1.5006869	1.0023922
Asai	0.9987520	0.9989018	0.9996058	0.9996541
Asui	0.0012480	0.0010982	0.0007883	0.0003459
Ens	14.8860931	13.2133247	9.4700308	4.1548276
Aens	14.6818470	7.1327936	5.8695722	2.5819467

Costos de Interrupción e Inversión Alimentadora La Reforma  
Tabla 4.35



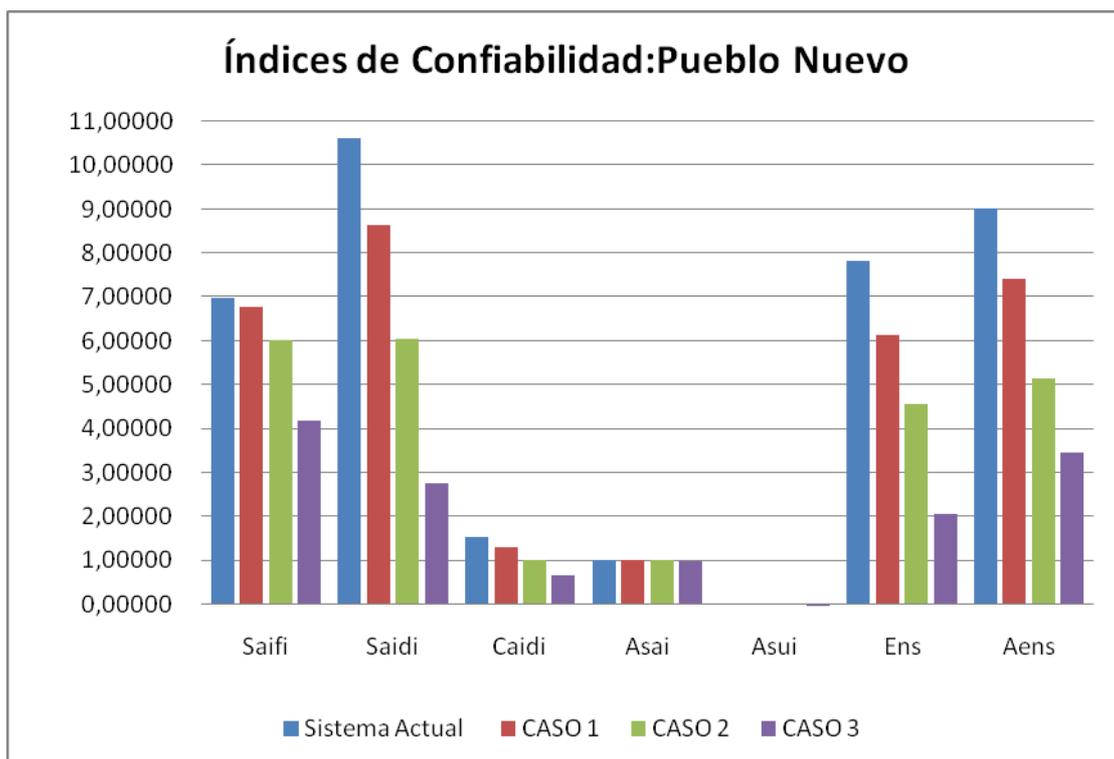
Índices de Confiabilidad Alimentadora Juján  
Gráfica 4.5

De la [Tabla 4.35](#) y de la gráfica 4.5 se puede deducir que la mejor alternativa para el mejoramiento del sistema es la del caso 3 ya que presenta un 47% de mejora del SAIFI, un 72% SAIDI y un 48 % del CAIDI

### Alimentadora Pueblo Nuevo: Índices de confiabilidad para cada caso

Pueblo Nuevo	Sistema Actual	CASO 1	CASO 2	CASO 3
<b>Saifi</b>	6.9611852	6.7750628	6.0201768	4.1781583
<b>Saidi</b>	10.6129929	8.6347889	6.0313778	2.7554829
<b>Caidi</b>	1.5245957	1.2744958	1.0018606	0.6594970
<b>Asai</b>	0.9997885	0.9990143	0.9993115	0.9996854
<b>Asui</b>	0.0012115	0.0009857	0.0006885	0.0003146
<b>Ens</b>	7.8152083	6.1269152	4.5514602	2.0799806
<b>Aens</b>	9.0210440	7.4023957	5.1266711	3.4623066

Índices de Confiabilidad Alimentadora Pueblo Nuevo  
Tabla 4.36



Índices de Confiabilidad Alimentadora Pueblo Nuevo  
Gráfica 4.6

De la **Tabla 4.36** y de la gráfica 4.6 se puede deducir que la mejor alternativa para el mejoramiento del sistema es la del caso 3 ya que presenta un 40% de mejora del SAIFI, un 74% SAIDI y un 57 % del CAIDI

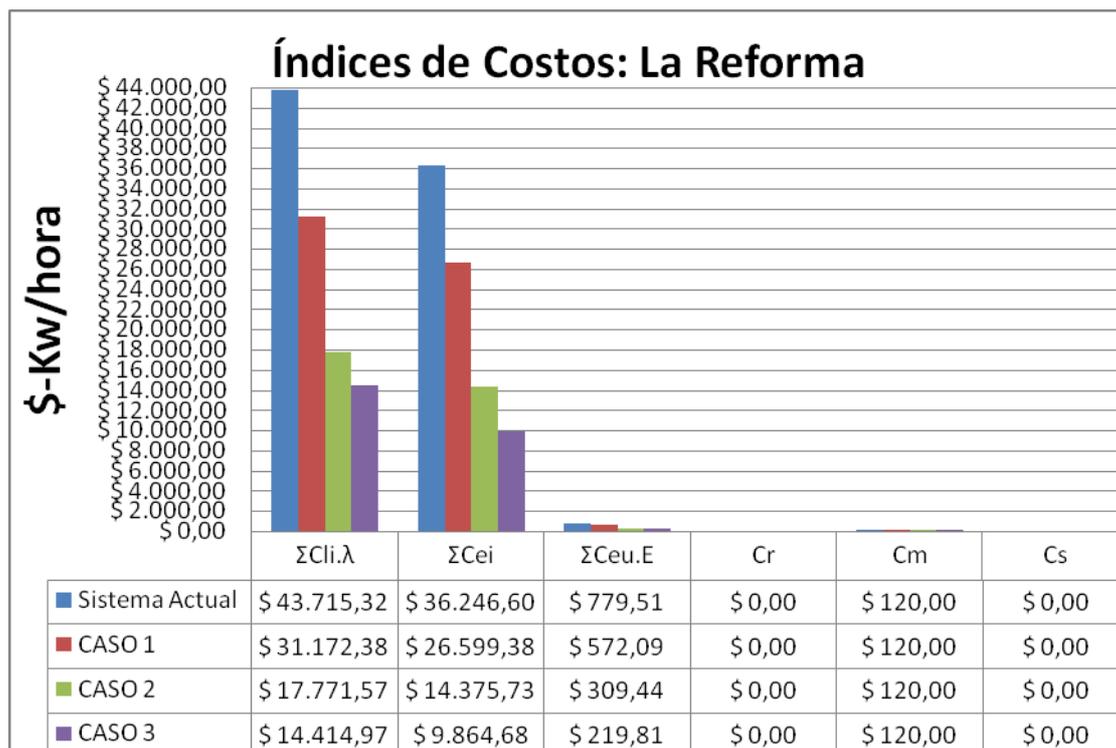
En cuanto al Índice ENS, en la tres alimentadoras la mejor opción es la del caso tres con un porcentaje de mejoramiento del 57 % para La Reforma, de un 72% para Jujan y de un 65% para Pueblo Nuevo, esto lo analizaremos con más detalle en la sección 4.4.

El resultado del los Índices de Costos por Alimentadora se detallan en las **Tablas 4.37, 4.38 y 4.39** como sigue a continuación:

#### Alimentadora La Reforma: Índices de Costos para cada caso

La Reforma		Sistema Actual	CASO 1	CASO 2	CASO 3
Costos al Consumidor	$\Sigma\text{Cli.}\lambda$	\$ 43,715.32	\$ 31,172.38	\$ 17,771.57	\$ 14,414.97
	$\Sigma\text{Cei}$	\$ 36,246.60	\$ 26,599.38	\$ 14,375.73	\$ 9,864.68
Costos a la Empresa	$\Sigma\text{CeU.E}$	\$ 779.51	\$ 572.09	\$ 309.44	\$ 219.81
Inversión	Cr	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
Mantenimiento	Cm	\$ 120.00	\$ 120.00	\$ 120.00	\$ 120.00
Perdidas	Cs	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
COSTO TOTAL		\$ 80,861.43	\$ 58,463.85	\$ 32,576.73	\$ 24,619.45

Costos de Interrupción e Inversión Alimentadora La Reforma  
Tabla 4.37



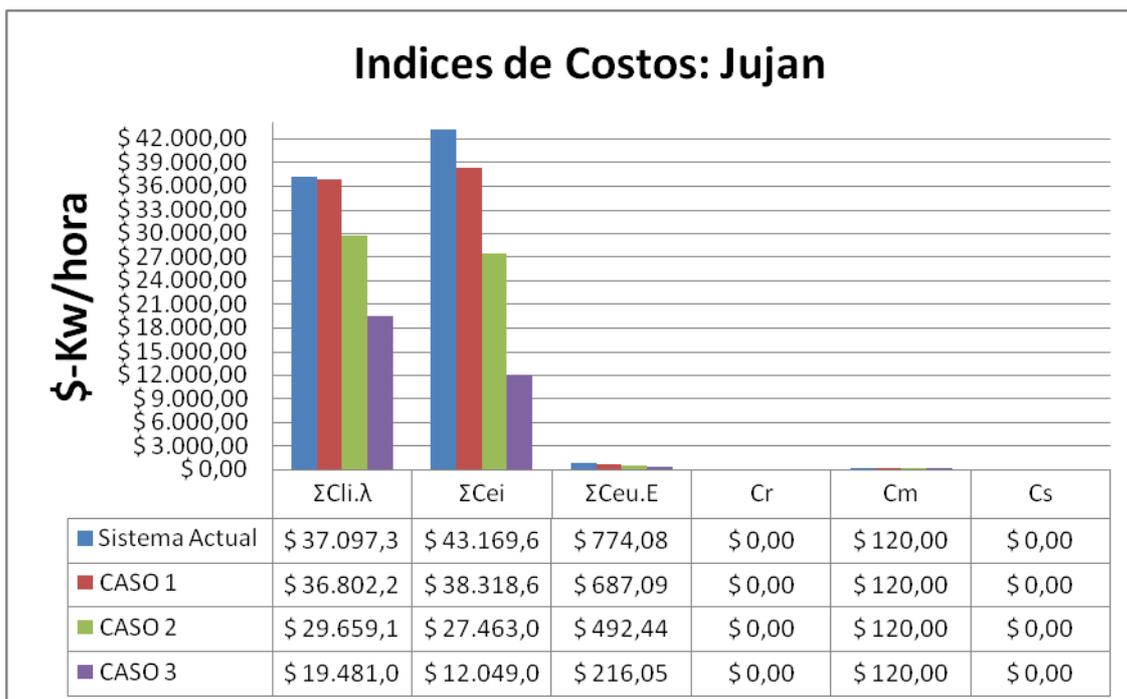
**Índices de Costos de Alimentadora La Reforma**  
Gráfica 4.7

De la [Tabla 4.37](#) y de la gráfica 4.7 se puede deducir que el mejor resultado se da con el caso 3 ya que al sumar los costos totales nos da un porcentaje de mejoramiento del 70 % con referencia a los costos del sistema actual.

#### Alimentadora Juján: Índices de Costos para cada caso

Juján		Sistema Actual	CASO 1	CASO 2	CASO 3
Costos al Consumidor	ΣCli.λ	\$ 37,097.30	\$ 36,802.25	\$ 29,659.18	\$ 19,481.03
	ΣCei	\$ 43,169.67	\$ 38,318.64	\$ 27,463.09	\$ 12,049.00
Costos a la Empresa	ΣCeu.E	\$ 774.08	\$ 687.09	\$ 492.44	\$ 216.05
Inversión	Cr	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
Mantenimiento	Cm	\$ 120.00	\$ 120.00	\$ 120.00	\$ 120.00
Perdidas	Cs	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
<b>COSTO TOTAL</b>		\$ 81,161.05	\$ 75,927.98	\$ 57,734.71	\$ 31,866.08

**Costos de Interrupción e Inversión Alimentadora Juján**  
Tabla 4.38



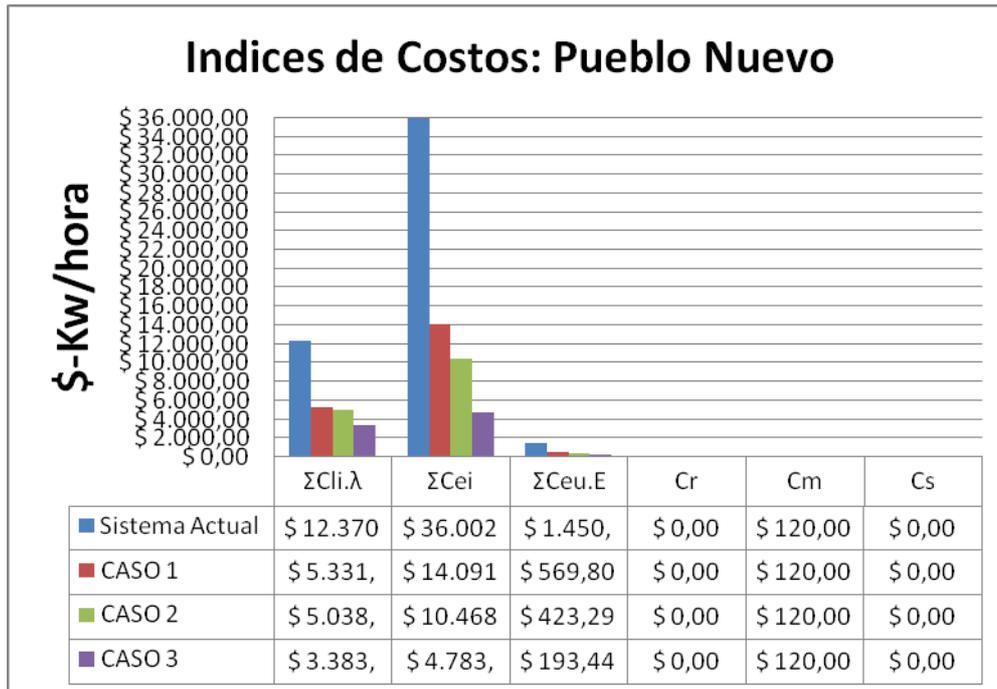
**Índices de Costos de Alimentadora Juján**  
Gráfica 4.8

De la [Tabla 4.38](#) y la gráfica 4.8 se puede deducir que el mejor resultado se lo obtiene con el caso 3 ya que al sumar los costos totales nos da un porcentaje de mejoramiento del 60.71% con referencia a los costos del sistema actual.

#### Alimentadora Pueblo Nuevo: Índices de Costos para cada caso

Pueblo Nuevo		Sistema Actual	CASO 1	CASO 2	CASO 3
Costos al Consumidor	ΣCli.λ	\$ 12,370.31	\$ 5,331.71	\$ 5,038.20	\$ 3,383.61
	ΣCeI	\$ 36,002.17	\$ 14,091.90	\$ 10,468.36	\$ 4,783.96
Costos a la Empresa	ΣCeU.E	\$ 1,450.06	\$ 569.80	\$ 423.29	\$ 193.44
Inversión	Cr	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
Mantenimiento	Cm	\$ 120.00	\$ 120.00	\$ 120.00	\$ 120.00
Perdidas	Cs	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
<b>COSTO TOTAL</b>		\$ 49,942.55	\$ 20,113.41	\$ 16,049.84	\$ 8,481.01

**Costos de Interrupción e Inversión Alimentadora Pueblo Nuevo**  
Tabla 4.39



**Índices de Costos de Alimentadora Pueblo Nuevo**  
**Gráfica 4.9**

De la [Tabla 4.39](#) y de la gráfica 4.9 se puede deducir que el mejor resultado se lo obtiene con el caso 3 ya que al sumar los costos totales nos un porcentaje de mejoramiento del 83% con referencia a los costos del sistema actual.

## 4.4 Análisis de los resultados por alimentadora

Esta sección comprende el análisis de las mejoras al sistema de distribución eléctrico de la Subestación Centro Industrial presentado en este trabajo.

Esta sección se separa en dos grupos:

- Análisis de los Índices de Confiabilidad
- Análisis de Costos

A continuación se dará paso a los respectivos análisis:

## Análisis de los índices de Confiabilidad

Es difícil emitir un criterio totalmente acertado sobre la veracidad de los índices de confiabilidad por cuanto estos varían de una empresa a otra y más todavía de un país a otro. Una de las comparaciones que se pueden realizar es con los Índices que se manejan en la Compañía Seattle City Light de Estados Unidos cuyo número de clientes es cercano al que tienen las Empresas Distribuidoras en el país. Los índices datan de 1997 y la empresa tenía a la fecha un número de clientes aproximado de 365000 usuarios.

En la **Tabla 4.40** se tienen los índices de confiabilidad a esa fecha:

<b>SAIFI</b>	1.24000	Int/Cons-año
<b>SAIDI</b>	1.21133	Hrs/Cons-año
<b>CAIDI</b>	0.97683	Hrs/Cons-Interrup

**Índices de Confiabilidad Seattle City Light**  
**Tabla 4.40**

En el artículo R280-90-7 “Analysis of Distribution System Reability and Outage Rates” de la Cooper Power se muestran valores metas para estos índices, que tomamos como muestra en la **Tabla 4.41**.

<b>Índice</b>	<b>Tipo de Sistema</b>	<b>Operación Meta</b>
SAIFI	Urbano	1.0 Interrucción/Consumidor-Año
SAIFI	Rural	1.5 Interrucción/Consumidor-Año
SAIDI	Urbano	1.0 Hora/Consumidor-Año
SAIDI	Rural	1.5 Horas/Consumidor-Año
CAIDI	Urbano/Rural	1.0 Hora/Consumidor-Interrupción
ASAI	Urbano	99.989% Disponibilidad anual
ASAI	Rural	99.983% Disponibilidad anual

**Índices de Confiabilidad Meta Cooper**  
**Tabla 4.41**

Se investigo sobre los índices de confiabilidad de las empresas BC Hydro y la Asociación Eléctrica Canadiense (CEA) los cuales se ven en la **Tabla 4. 42**.

DESCRIPCION	SAIFI		SAIDI	
	BCH	CEA	BCH	CEA
AÑO				
2005	1.47	1.98	3,96	3.95

**Tabla 4.42.- Comparativo Índices de Confiabilidad: BCH vs. CEA**

Estos datos fueron tomados del reporte de funcionamiento del servicio de distribución de empresas eléctricas F2000/01 a F2004/05.

Además se encontró otra tabla de índices de Calidad obtenido del Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energética de Argentina CEARE, lo cual se puede ver en la **Tabla 4.43** a continuación:

DESCRIPCION	REFERENCIA 1		REFERENCIA 2	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
Rural/Urbana Baja Densidad	4.2	8	2.4	4.4
Urbano	2.9	3.6	1.7	2

**Comparativo Índices de Confiabilidad: CEARE**  
**Tabla 4.43**

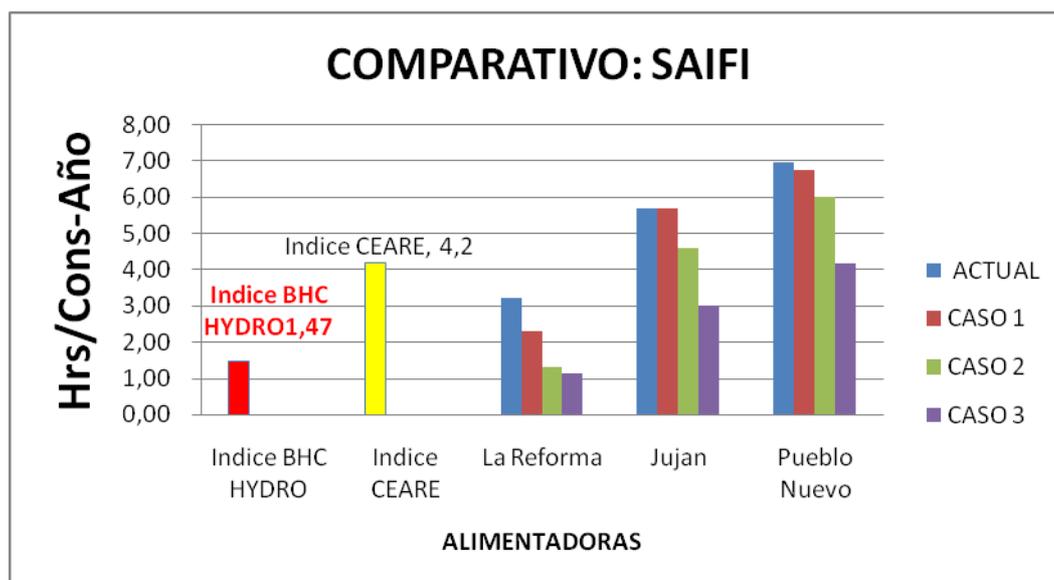
Antes de proceder al Análisis recordemos las mejoras que se realizaron al sistema de protecciones de las 3 alimentadoras de la Subestación Centro Industrial:

Mejoras	Descripción
1	Mejora de tiempos de restauración y de reparación del servicio
2	Fusibles en los ramales más extenso que no tienen protección
3	Seccionadores y colocación de fusibles en todos los ramales

**Detalle de las mejoras en las Alimentadoras de la S/E Centro Industrial**  
**Tabla 4.44**

A continuación, analizaremos los índices obtenidos de las distintas mejoras al sistema de protección primario de las 3 alimentadoras de la subestación Centro Industrial: se presentaran las graficas de los índices de confiabilidad y luego las graficas de los índices de costos, realizando un comparativo entre los tres casos por cada una de las alimentadoras con los valores hallados. Para nuestro análisis comparativo usaremos los índices BC Hydro de la [tabla 4.42](#) y los de la CEARE de la [Tabla 4.43](#) para el SAIFI y el SAIDI y los índices modelos de la Power Cooper para los demás índices.

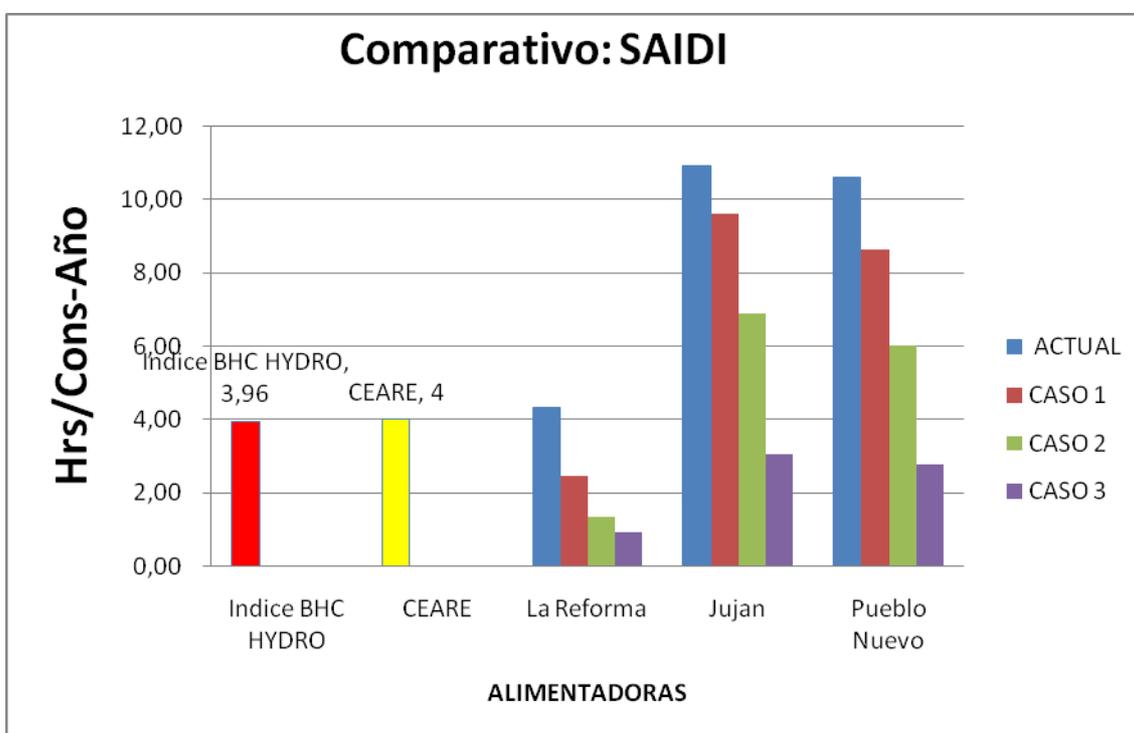
### SAIFI (Índice de frecuencia de interrupción promedio del Sistema)



**Comparación SAIFI de cada alimentadora**  
**Gráfica 4.10**

De la gráfica 4.10 se deduce que la mejor alternativa es la del caso 3 para cada una de las alimentadoras. Con referencia a la norma CEARE solo la alimentadora Pueblo Nuevo está muy cerca de límite con un valor de 4.178 mientras que las demás alimentadoras están por debajo del valor establecido. Con respecto al índice de la Hydro solo la alimentadora La Reforma cumple con esta norma con un valor de 1,119.

### SAIDI (Índice de la duración de la interrupción promedio del Sistema)

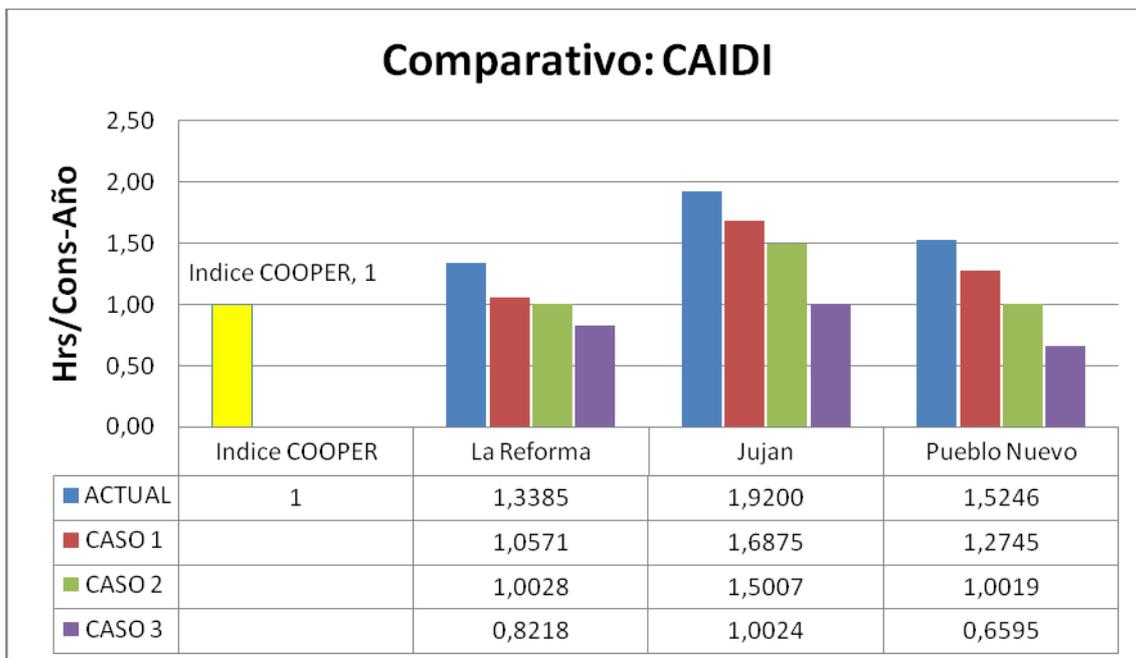


**Comparación de SAIDI de cada alimentadora**  
**Gráfica 4.11**

En la gráfica 4.11 se muestra las variaciones que tiene el índice de la duración de la interrupción promedio del sistema SAIDI, debido a las mejoras hechas sobre el sistema de protecciones de las 3 alimentadoras en estudio. De aquí se puede establecer que la alimentadora La Reforma es la que presenta el índice más bajo de las tres alimentadoras y que todas tres cumplen con los

parámetros establecidos tanto por la CERAE y por la Hydro tomando como modelo el caso 3.

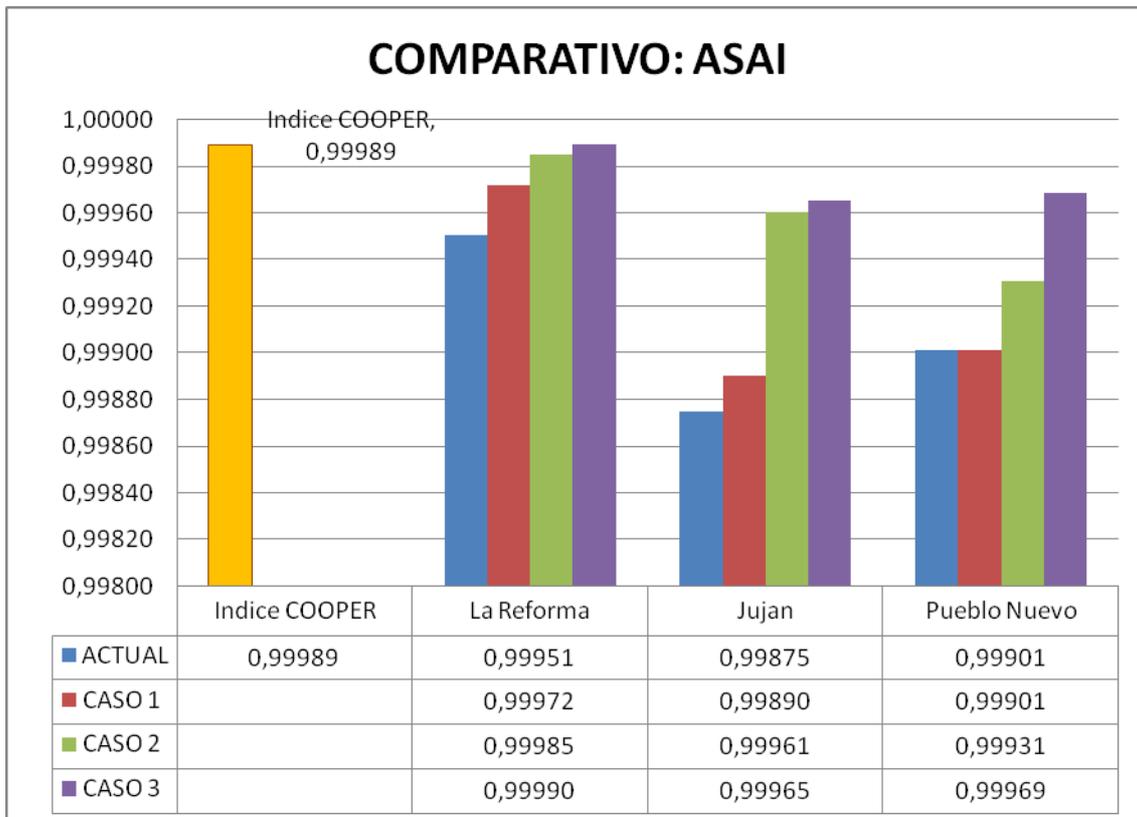
### CAIDI (Índice de la duración de la interrupción promedio de consumidores)



**Comparación de CAIDI de cada alimentadora  
Gráfica 4.12**

En la gráfica 4.12 se muestran las variaciones que tiene el índice de la duración de la interrupción promedio de consumidores, dando como resultado que solo la alimentadora Juján está en los límites de la norma establecida por la Power Cooper mientras que en las demás alimentadoras si están por debajo del límite admisible, siempre considerando el caso 3 como la mejor alternativa.

### ASAI (Índice de la disponibilidad promedio del servicio)

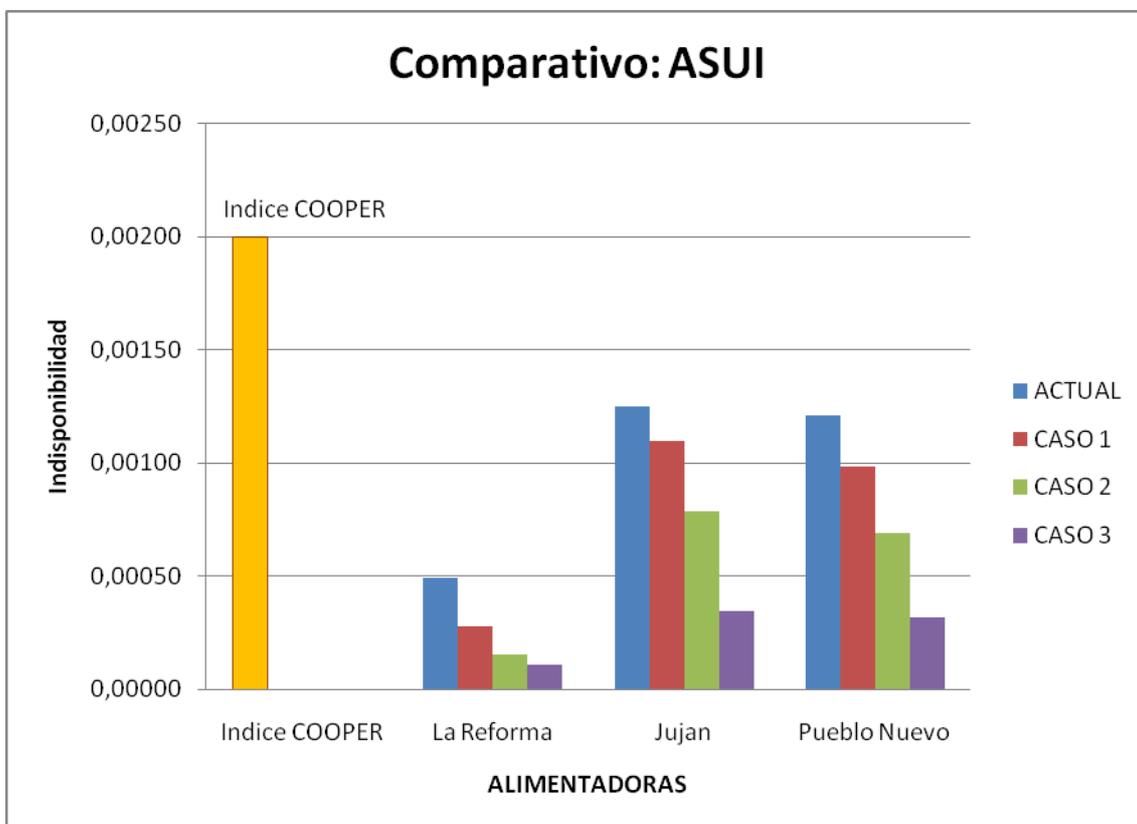


**Comparación de ASAI de cada alimentadora  
Gráfica 4.13**

A diferencia de los anteriores índices se cumple la meta si el valor de ASAI está por encima del valor dado por la norma de referencia.

En la gráfica 4.13 se puede apreciar las variaciones que tiene el índice de la disponibilidad promedio de servicio, a pesar de que están bajo la norma establecida por la Power Cooper sin embargo si se han realizado mejoras para cada una de alimentadoras resultando el caso 3 como la mejor opción.

## ASUI (Índice de la indisponibilidad promedio del servicio)

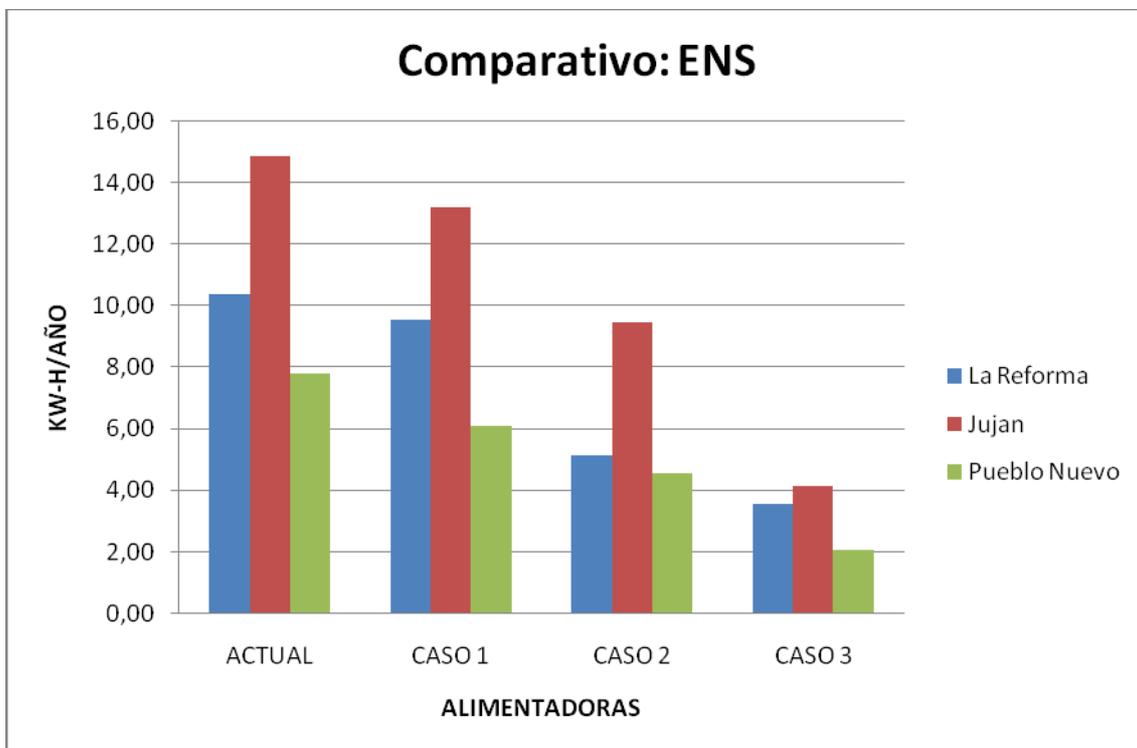


**Comparación de ASUI de cada alimentadora**  
**Gráfica 4.14**

El ASUI cumple la meta si el valor de este está por debajo del valor dado por la referencia al igual que el SAIFI y SAIDI.

Este índice resulta de la diferencia de la unidad menos el ASAI, por lo tanto no cabe hacer un análisis del ASUI ya que ya se lo hizo para el anterior índice.

### ENS (Índice de energía no suplida)

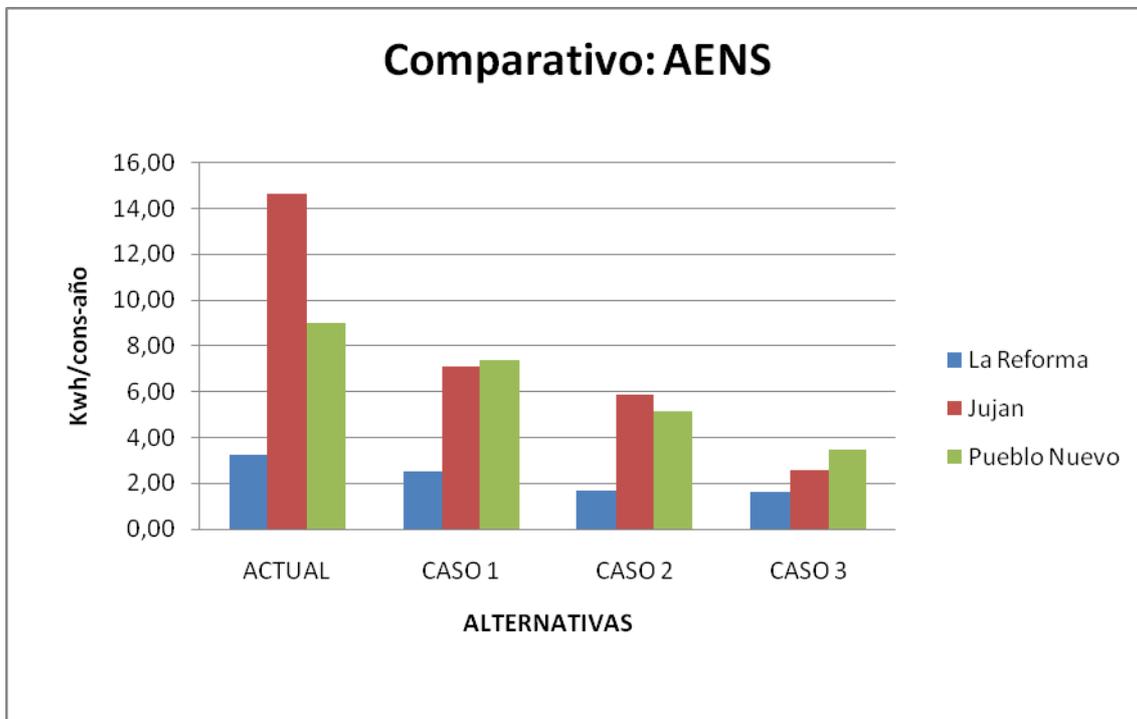


**Comparación de ENS de cada alimentadora  
Gráfica 4.15**

En la gráfica 4.14 se muestra las variaciones que tiene el índice de energía no suplida, debido a las mejoras hechas sobre el sistema de protecciones de cada una de las alimentadoras.

Se puede ver un decrecimiento progresivo de este índice a medida que se realizan las mejoras, y es que este índice representa la energía total del sistema que no pudo ser suministrada, resultado el caso tres como la mejor alternativa de las planteadas en este estudio y la alimentadora Pueblo Nuevo como la que obtuvo el mejor índice de todas.

**AENS (Energía promedio no suplida o índice de corte de carga promedio del sistema)**



**Comparación de AENS de cada alimentadora  
Gráfica 4.16**

De la grafica 4.16 se puede apreciar que la alimentadora La Reforma es la que tiene el mejor índice de energía promedio no suplida o índice de corte de carga promedio del sistema, debido a las mejoras hechas sobre el sistema de protecciones de las 3 alimentadoras en estudio. Sin embargo la más favorecida es la alimentadora Jujan en cuanto al porcentaje de mejora se refiere ya que ha disminuido notablemente el valor de este índice.

Este índice representa la energía total del sistema que no pudo ser suministrada por consumidor.

## Análisis de Costos

En esta sección vamos a analizar los costos que requerirán la implementación de las mejoras a las 3 alimentadoras de la Subestación Centro Industrial

La variable económica para este análisis será el costo total que es más que la suma de los costos de interrupción que experimentan los usuarios, más el costo de inversión que realiza la empresa para mejorar la confiabilidad, también este costo puede expresarse como costo total por consumidor que resulta de dividir el costo total para el número de usuarios que posee la alimentadora. Estos costos se presentan de manera anual y resultan de la suma de dos términos:

- ✓ El costo de Interrupción que perjudica a los abonados
- ✓ El costo de inversión que sirve para que las interrupciones disminuyan y todo funcione correctamente.

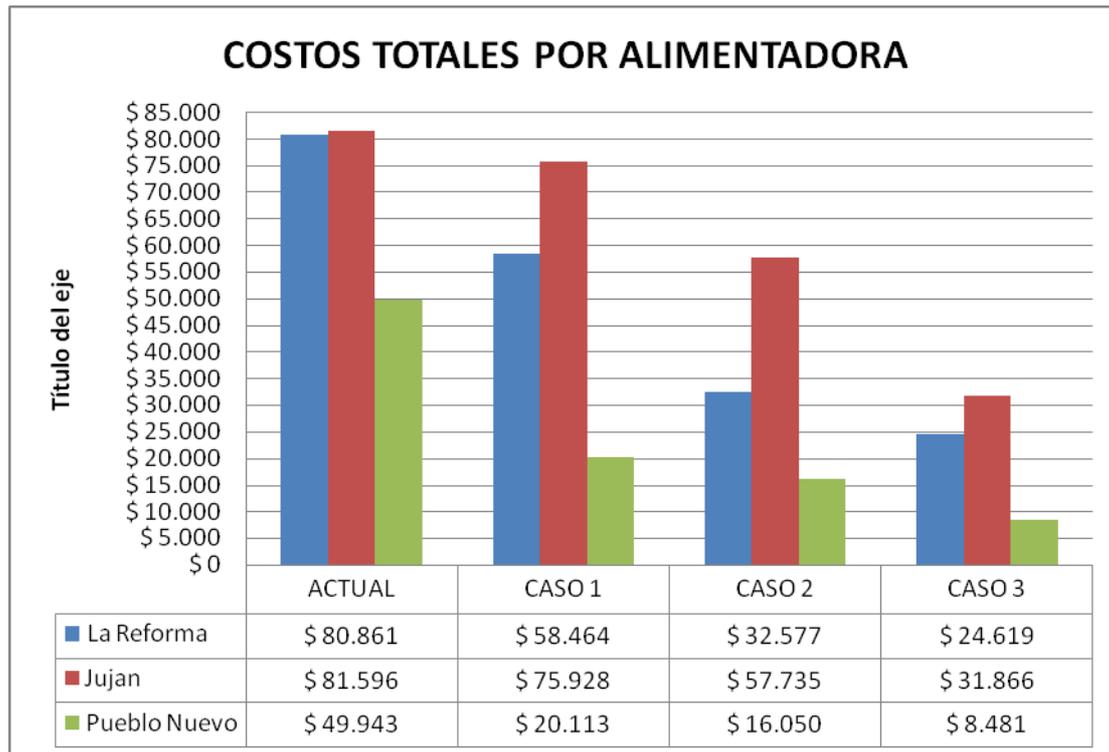
Al final debería dar como resultado que ese obtenga el mayor beneficio posible con el menor costo.

Para determinar qué porcentaje le disminuirán los costos a un abonado o cuanto le aumentaran se debe obtener costo total por consumidor. El costo total por consumidor es el resultado de la relación entre el Costo Total y el número de abonados que tiene la alimentadora

El objetivo final es determinar que el costo de interrupción sea el menor de tal manera que a la misma vez se pueda dar un servicio continuo y confiable

al consumidor, lo cual repercutirá en el hecho de que potenciales clientes se sientan seguros y confiados de invertir en el país sin riesgos de interrupciones innecesarias.

En la gráfica 4.17 se muestra el análisis el análisis de costos global del sistema

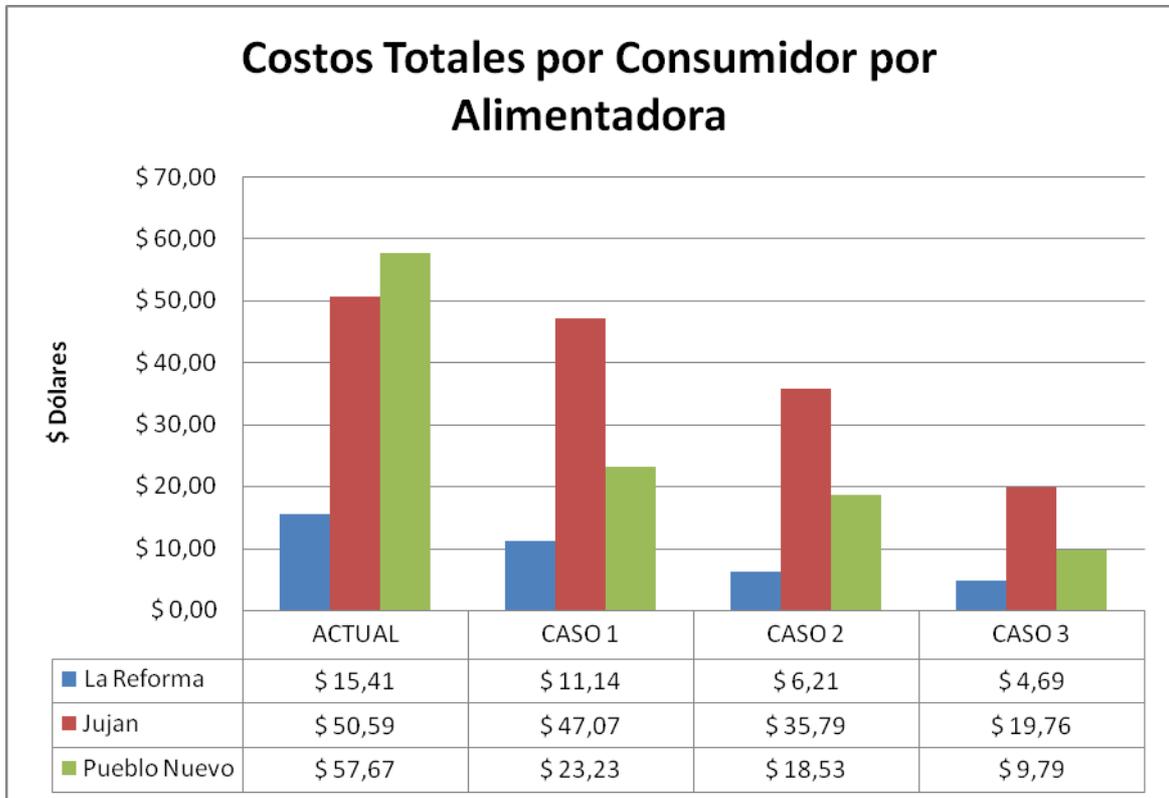


**Costos Totales por Alimentadora  
Gráfica 4.17**

De la gráfica 4.17 se puede observar que a pesar de que a medida que se implementan equipos de protección y seccionamiento en cada uno de los casos analizados, el costo total se reduce progresivamente

Además podemos ver que para el caso 3 la alimentadora La Reforma es la que presenta los menores costos totales seguida por la alimentadora Juján no así la alimentadora La Reforma la cual presenta sus mejores costos para el caso 2.

En la gráfica 4.18 se muestra el análisis el análisis de costos global por consumidor por alimentadora.



**Costos Totales por Consumidor por Alimentadora**  
**Gráfica 4.18**

En la gráfica 4.18 se muestra las variaciones del costo total por consumidor, las que se producen debido a cada mejoramiento que se realiza en el sistema por el rediseño en la topología o en el sistema de protecciones.

A medida que se buscan mas soluciones factibles que involucran costos de inversión llegara un punto que los costos de inversión superaran los costos de interrupción y por lo tanto nos va a resultar más costoso de los que antes iniciamos que era no hacer nada, es decir mantener el sistema actual.

De la misma gráfica se puede deducir que los costos por consumidor conservan la misma tendencia que los costos totales por alimentadora, esto es muy susceptible de error, por cuanto hay ocasiones en que el costo de una alimentadora parece ser el mayor de todos pero cuando se realiza el análisis por consumidor quizás esto varíe y termine siendo otra la de mayor costo. Con un ejemplo se puede entender mejor:

Hay dos alimentadoras la primera con un costo de \$ 2000 y la segunda alimentadora con un costo de \$ 4000 aquí la de mayor costo es la segunda.

La primera tiene 200 abonados y la segunda tiene 1000 abonados al dividir los \$2000 de la primera alimentadora para sus 200 abonados obtengo \$10 mientras que si dividimos \$ 4000 para sus 1000 abonados obtengo \$ 4, ahora la alimentadora con mayor costo es la primera.

Por lo tanto se debería invertir inicialmente en la primera alimentadora ya que esta tiene el costo total más bajo pero por usuario tiene el costo más alto, esto implica que por usuario estos están recibiendo un exceso de fallas o interrupciones, así que se recomienda invertir inicialmente en la primera alimentadora.

La otra alimentadora tiene un costo total muy alto pero es por la cantidad clientes o usuarios y si analizo por usuario el costo es muy bajo es decir ocasionalmente estos reciben alguna falla o interrupción.

Para el caso de nuestras tres alimentadoras, los costos totales por alimentadora si guardan la misma tendencia a bajar que los costos por consumidor por alimentadora.

Una vez terminado todo el análisis se elige el caso o la opción de mejoramiento que produzca una mayor confiabilidad en el sistema, lo cual quiere decir que las interrupciones disminuyan al máximo y en el caso de una interrupción que esta afecte a la menor cantidad de abonados posible y la inversión sea la más factible desde el punto de vista económico.

Para encontrar los mejores resultados se verificaran dos puntos:

La Mejor solución técnica

El escenario más económico

Se pueden tener varias soluciones técnicas pero la limitante es el factor económico, pueden darse soluciones técnicas que no ayudan a mucho pero que son muy económicas, hasta soluciones técnicas muy avanzadas que eliminan toda clase de error pero a muy altos costos, entonces económicamente se debe elegir cuanto se quiere gastar pero sin perder los límites de competitividad del mercado.

Si nos damos cuenta es mejor que los beneficios sean inversamente proporcionales a los costos, se trata de que se invierta menos y se gane mas.

Una vez culminados los análisis se puede decir que para efectos de nuestro estudio la mejor opción es la del caso 3 donde se ubicaron fusibles en todos

los ramales que se derivan de la trocal y se ubico un seccionador considerando en el punto donde se tiene la mitad de la carga conectada a la alimentadora, obteniendo los mejores índices de confiabilidad del sistema a los costos más económicos posibles para cada una de las tres alimentadoras.

En la tabla 4.45 se puede con mayor claridad lo explicado en los párrafos anteriores y los valores hallados de los índices de confiabilidad y los costos por alimentadora y por consumidor de cada una de las alimentadoras de la Subestación Centro Industrial, lo que nos da la razón por la cual fue escogida como la mejor alternativa de nuestro trabajo.

<b>CASO 3</b>	<b>La Reforma</b>	<b>Juján</b>	<b>Pueblo Nuevo</b>
<b>Saifi</b>	1.118569251	3.0226196	4.1781583
<b>Saidi</b>	0.919278713	3.0298505	2.7554829
<b>Caidi</b>	0.821834421	1.0023922	0.6594970
<b>Asai</b>	0.99989506	0.9996541	0.9996854
<b>Asui</b>	0.00010494	0.0003459	0.0003146
<b>Ens</b>	3.573188795	4.1548276	2.0799806
<b>Aens</b>	0.680737054	2.5819467	3.4623066
<b>COSTOS TOTALES POR ALIMENTADORA</b>	\$ 24,619	\$ 31,866	\$ 8,481
<b>COSTOS TOTALES POR CONSUMIDOR POR ALIMENTADORA</b>	\$ 5	\$ 20	\$ 10

**Mejor Alternativa: Caso 3**  
**Tabla 4.45**

# Conclusiones y recomendaciones

## CONCLUSIONES.-

- 1.- Del sistema actual con respecto al nivel de voltaje tenemos que la máxima caída de voltaje para cada alimentadora es el siguiente:

	Máx
La Reforma	5,71%
Jujan	5,69%
Pueblonuevo	3,25%

Por lo tanto, según la norma 004/01 del CONELEC que las 3 alimentadoras de la subestación Centro Industrial no tienen problemas en la regulación de voltaje.

- 2.- Las alimentadoras de la Subestación Centro Industrial tiene un desbalance de más o menos el 20% esto se debe a que no existe un control adecuado al momento de instalar las cargas muchos usuarios lo hacen con contratistas sin consultar previamente con la empresa sobre en que se debería instalar dicha carga.

Se recomienda hacer una campaña constante de concientización para la solución de este problema, tomando como base los valores analizados.

Para el caso de la Alimentadora Juján y Pueblo Nuevo, se puede transferir de un ramal a otro las cargas monofásicas para lograr el equilibrio deseado, ya que existen ramales que son innecesariamente largos cuando se pueden tomar de otro punto más adelante de la troncal sin tanto recorrido de línea lo cual minimizaría el valor de la impedancia.

Para el caso de las alimentadoras La Reforma se debe hacer un cambio individual de transformadores a la fase menos cargada, debido a que esta posee pocos ramales monofásicos.

**3.-** Los índices TTIK y FMIK, que sirven para evaluar la calidad del servicio técnico y que están expresados en la regulación 004/01 del CONELEC, para las tres alimentadoras de la Subestación Centro Industrial indican que el sistema se mantiene dentro de los rangos aceptables. En comparación con otros países los índices o tolerancia depende de la regulación de cada país, como en el caso de Chile según el art. 246 del D.S. N° 327 del Reglamento de la Ley de Servicios Eléctricos de la Comisión Nacional de Energía dice que los valores máximos de los índices de calidad de suministró como el FMIK es 5 veces al año mientras los TTIK es de 14 horas al año por lo que los índices de las alimentadoras de la S/E Centro Industrial están dentro de los límites establecidos para dicha normativa.

**4.-** La veracidad y exactitud de los valores encontrados tanto para los índices de Confiabilidad como para los índices de Costos dependen sustancialmente de la veracidad de la información que la empresa posee sobre la bitácora de fallas y los datos históricos sobre las salidas de servicio del sistema, con las especificaciones de tiempos y causas de las fallas. Estos índices permiten evaluar el desempeño del sistema eléctrico de la subestación Centro Industrial y establecer las mejoras a implementar para disminuir las interrupciones y, en consecuencia, las pérdidas por este concepto y los costos por las sanciones contempladas en la legislación.

- 5.- De acuerdo a nuestro estudio se puede concluir que si bien los Índices de Confiabilidad del sistema buscan la mejor opción técnica para el mejoramiento del sistema, estos tiene que ir necesariamente de la mano con los Índices de Costos para llegar a la mejor alternativa, tanto para el consumidor como para la empresa de distribución de la energía. De ahí la razón de aplicar un criterio económico donde arroje la mejor solución técnica posible pero que sea económicamente viable.
- 6.- En concordancia con los índices de confiabilidad y de costos encontrados para cada alimentadora se tiene que el **Caso 3: Adicionar Seccionadores y colocar fusibles en todos los ramales**, es la mejor alternativa para cada una de las alimentadoras ya que si justifica la inversión tanto en los costos para el consumidor como en los que se generan para la empresa, con la mejora sustancial de las interrupciones del servicio.
- 7.- Para el **Caso 3: Adicionar Seccionadores y colocar fusibles en todos los ramales**, tenemos los más altos porcentajes de mejoramiento de los costos totales por consumidor con referencia al sistema actual. De lo cual podemos deducir una vez más que esta es la mejor alternativa. Estos porcentajes son:

La Reforma	Juján	Pueblo Nuevo
69.55%	60.95%	83.02%

8.- Analizando los índices de la Energía no suministrada por cada alimentadora con respecto al sistema actual también se llega a la conclusión de que la mejor opción es la planteada en el **Caso 3: Adicionar Seccionadores y colocar fusibles en todos los ramales**, para todas las alimentadoras. Estos porcentajes son:

La Reforma	Juján	Pueblo Nuevo
65.56%	72.36%	73.39%

## RECOMENDACIONES.-

1. Los índices de confiabilidad recomendados en las normas consideran aspectos como: la duración y frecuencia de las interrupciones temporales, número de interrupciones momentáneas, la cantidad de potencia interrumpida y de la energía no suministrada y el número de clientes afectados, por esta razón nuestra recomendación es que la empresa debería implementar un método más efectivo para llevar las estadísticas de interrupciones a través de la bitácora de las subestaciones y con base los reclamos de los clientes, como por ejemplo la implementación de un sistema Scada como lo tiene en la Subestación de Durán la empresa eléctrica EMELGUR, según lo que hemos investigado, y la implementación de una o dos líneas telefónicas exclusivas para atender las quejas de los abonados por la falta del suministro de la energía eléctrica cuando ocurre alguna falla en el algún elemento del sistema.
2. Tanto la alimentadora Juján como la de Pueblo Nuevo tienen un recorrido de sus líneas en su mayor parte por el sector rural, razón por la cual la mayoría de las fallas se deben a factores externos como el hecho de que muchas plantaciones llegan a la altura de las líneas y causan las fallas al topar con estas, así también se encontró algunos tensores arrancados lo cual hace que los vanos se arqueen y las líneas tienda a toparse entre sí ya sea por el viento o por movimientos que producen el paso de transporte pesado, por lo cual se recomienda que la empresa

establezca un cronograma de trabajos de mantenimientos preventivos como la limpieza y el desbroce de los terrenos adyacentes al recorrido de las líneas y la verificación del buen estado de los tensores.

3. En el caso de la alimentadora La Reforma, esta tiene aproximadamente la mitad de su recorrido por zonas urbano marginales del cantón Babahoyo al igual que una parte de la líneas de la alimentadora Juján que pasa por el pueblo del mismo nombre y termina en el sector de Tres Postes, allí existe un fenómeno muy curioso con la cultura de la gente que tienen por costumbre jugar en las calles y arrojar los zapatos que ya no les sirven hacia arriba enredándolos de manera intencional en las líneas, lo que produce que por el peso acumulado las líneas tienda a tocarse entre sí ocasionado las fallas eléctricas. La empresa debería iniciar una campaña de concientización de la gente sobre los problemas que esto acarrea y el buen uso de la energía y el costo social y económico que produce este hecho tanto para los consumidores como para la empresa.
4. La empresa deba llevar un mejor control sobre el uso de los equipos de radio y vehículos que maneja el personal que atiende las líneas de distribución, así como un preventivo y correctivo del parque automotor con que cuenta, esto repercutirá en que se mejoren los tiempos de restauración de la energía.

# **ANEXOS**

## **ANEXO A**

### **Diagrama Unifilar del Sistema Eléctrico CNEL Los Ríos**

Con el objeto de facilitar los análisis que se realizaron en el presente trabajo a continuación se presenta el diagrama unifilar general de todo el Sistema Eléctrico de la Provincia de Los Ríos.

## **ANEXO B**

### **Área de Influencia CNEL Los Ríos**

A continuación se presenta una grafica en la cual podemos notar toda el área de influencia de la empresa distribuidora CNEL Los Ríos.

## **ANEXO C**

### **Diagrama Unifilar de la Subestación Centro Industrial**

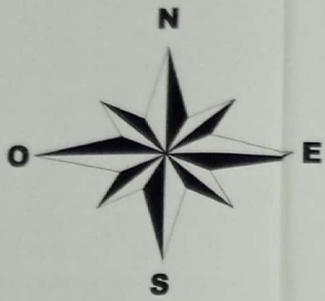
Para mayor facilidad de los análisis que se realizaron en el presente trabajo se presenta un diagrama unifilar de protecciones el cual nos es de gran ayuda para el análisis de coordinación de las mismas.

## **ANEXO D**

### **Diagramas de las Alimentadoras de la Subestación Centro Industrial CNEL Los Ríos**

Con el objeto de facilitar los análisis que se realizaron en el presente trabajo se realizó un simulacro del recorrido de las alimentadoras en una herramienta gráfica. En tal herramienta gráfica se indica la ubicación de la Subestación, planimetría del área de influencia, elementos que conforman el sistema eléctrico en sí tales como alimentadores, seccionadores, transformadores, etc.

En este anexo se presentará los planos de las 3 alimentadoras de la Subestación Centro Industrial, indicando los puntos que se tomaron como referencia para los análisis de falla, cálculo de voltaje y confiabilidad del sistema.



S/E  
LA CHORRERA  
10/12.5MVA

		EMPRESA ELÉCTRICA CNEL S.A. MÉRMID - COCABO		
ESCALA:	1:7500	<b>S/E CENTRO INDUSTRIAL ALIMENTADORA LA REFORMA</b>		
FECHA:	25-09-09			
DEBIDO:	WALJA			
REF:	GEODIM	DIGITALIZACION/LEVANT.		
NOMBRES		REVISIONES		
TATIANA NAGUA	FECHA: 25-09-09	Nº	NOMBRES	FECHA

0.000000

S/E  
C INDUSTRIAL  
10/12.5MVA

0.000000

S/E  
C INDUSTRIAL  
10/12.5MV/A

Alimentador  
Jujan

# ALFREDO BAQUERIZO MORENO

Los Antaños

Las Cañitas

San Jose de Alcajo

San Luis  
El Convento



El Achiate

Poco a Poco

El Nigulzo

Olomo de Rauzo

Los Puentes

La Puntilla

Mananica

Tigrillo

Mata de Caña

La Toquilla

Rauzo

Bella Luz

Vuelta de  
la Culebra

Matapala

La Libertad

Los Lagos

24 de Mayo

Tres Postes



## ANEXO E

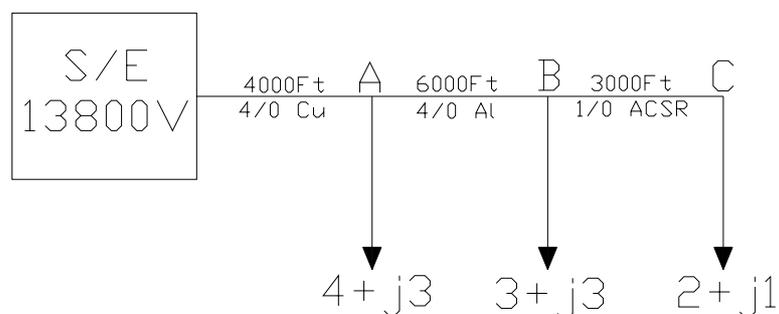
### Ejemplo de Cálculo de Voltaje de una alimentadora usando el método de porcentaje de impedancia

A continuación se mostrará un pequeño ejemplo de aplicación del método de porcentaje de impedancia usado para el cálculo de voltaje de una alimentadora.

Ejemplo: Se cuenta con una subestación cuyo voltaje es de 13800 V. Calcule el voltaje de cada derivación de la alimentadora que se muestra en la figura de abajo, si se conoce lo siguiente:

	Conductor	$z(\Omega/1000\text{Ft})$	Distancia [Ft]
Del punto S al punto A	4/0 Cu	$0.0574+j(0.0953+0.0341)$	4000
Del punto A al punto B	4/0 Al	$0.0907+j(0.0953+0.0341)$	6000
Del punto B al punto C	1/0 ACSR	$0.1950+j(0.1155+0.0341)$	3000

	Carga [MVA]
Punto A	$4+j3$
Punto B	$3+j3$
Punto C	$2+j1$



El voltaje nominal de la alimentadora es 13200[V]

Se tiene lo siguiente:

	Conductor	Z[Ω]
Del punto S al punto A	4/0 Cu	0.2296+j0.5176
Del punto A al punto B	4/0 Al	0.5442+j0.7764
Del punto B al punto C	1/0 ACSR	0.585+j0.4488

	Carga Acumulada [KVA]	θ
Punto A	9000+7000j	37.8749837°
Punto B	5000+4000j	38.6598083°
Punto C	2000+1000j	26.5650512°

Voltaje en S:

$$V_S \% = \frac{13800}{13200} \cdot 100\% = 104.54\%$$

Voltaje en A:

$$CV_{S-A} \% = \frac{\sqrt{9000^2 + 7000^2}}{1000 \cdot 13.2^2} \cdot \left( 0.2296 \cdot \frac{9000}{\sqrt{9000^2 + 7000^2}} + 0.5176 \cdot \frac{9000}{\sqrt{9000^2 + 7000^2}} \right)$$

$$CV_{S-A} \% = 3.27\%$$

$$V_A \% = 104.54\% - 3.27\% = 101.27\%$$

$$V_A = 101.27\% \cdot \frac{13200[V]}{100\%} = 13367.64[V]$$

Voltaje en B:

$$CV_{A-B} \% = \frac{\sqrt{5000^2 + 4000^2}}{1000 \cdot 13.2^2} \cdot \left( 0.5442 \cdot \frac{5000}{\sqrt{5000^2 + 4000^2}} + 0.7764 \cdot \frac{4000}{\sqrt{5000^2 + 4000^2}} \right)$$

$$CV_{A-B} \% = 3.34\%$$

$$V_B \% = 101.27\% - 3.34\% = 97.93\%$$

$$V_B = 97.93\% \cdot \frac{13200[V]}{100\%} = 12926.76[V]$$

Voltaje en C:

$$CV_{B-C} \% = \frac{\sqrt{2000^2 + 1000^2}}{1000 \cdot 13.2^2} \cdot \left( 0.5850 \cdot \frac{2000}{\sqrt{2000^2 + 1000^2}} + 0.4488 \cdot \frac{1000}{\sqrt{2000^2 + 1000^2}} \right)$$

$$CV_{B-C} \% = 0.93\%$$

$$V_C \% = 97.93\% - 0.93\% = 97\%$$

$$V_C = 97\% \cdot \frac{13200[V]}{100\%} = 12804[V]$$

## **ANEXO F**

### **Cálculo Completo de Fallas de la Subestación Centro Industrial CNEL Los Ríos**

A continuación se presentarán tablas del análisis de fallas de las tres alimentadoras de la Subestación Centro Industrial. La ubicación de los puntos que se presentan en el presente análisis son aquellos que se indican en los planos de las alimentadoras en el **Anexo D**.

## **ANEXO G**

### **Estadísticas de Fallas de la Subestación Centro Industrial CNEL Los Ríos**

A continuación se presentarán tablas de datos que recoge la CNEL S.A. relacionados con las interrupciones que han sufrido las 3 alimentadoras de la subestación Centro Industrial.