

# UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI



## UNIDAD ACADEMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

INGENIERIA ELECTRICA

TESIS DE GRADO

**TEMA:**

**“ESTUDIO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN DISYUNTOR DE POTENCIA DE 69 KV CON SUS RESPECTIVAS PROTECCIONES PARA LA EMPRESA HOLCIM, EN LA SUBESTACION DE ARRANQUE DE LA PLANTA UBICADA EN EL SECTOR SAN RAFAEL – LATACUNGA, PERIODO 2013.”**

Tesis de grado previo a la obtención del título de

Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia

**AUTORES:**

CAISA YUPANGUI LUIS HECTOR

COLLAGUASO PAREDES MARCO PAUL

**DIRECTOR DE TESIS:** ING. VICENTE QUISPE

**LATACUNGA-ECUADOR**

## APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe técnico de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Caisa Yupangui Luis Héctor y Collaguaso Paredes Marco Paul con el título de tesis: **“ESTUDIO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN DISYUNTOR DE POTENCIA DE 69 KV CON SUS RESPECTIVAS PROTECCIONES PARA LA EMPRESA HOLCIM, EN LA SUBESTACION DE ARRANQUE DE LA PLANTA UBICADA EN EL SECTOR SAN RAFAEL – LATACUNGA, PERIODO 2013.”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al **Acto de Defensa de Tesis** en la fecha y hora señalada.

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

Latacunga, 4 de Junio del 2014

Para constancia firman:

.....  
**Ing. Franklin Medina**  
**PRESIDENTE**

.....  
**Msc. Hugo Armas**  
**MIEMBRO**

.....  
**Ing. Miguel Lucio**  
**OPOSITOR**

## **AUTORIA**

Caisa Yupangui Luis Héctor y Collaguaso Paredes Marco Paul, declaramos que el presente trabajo de investigación es original, de nuestra autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

.....  
**Caisa Yupangui Luis Héctor**  
**C.I. 050343270-0**

.....  
**Collaguaso Paredes Marco Paul**  
**C.I. 050325761-0**

## **CERTIFICACION DEL DIRECTOR DE TESIS**

En calidad de Director de Tesis sobre el tema **“ESTUDIO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN DISYUNTOR DE POTENCIA DE 69 KV CON SUS RESPECTIVAS PROTECCIONES PARA LA EMPRESA HOLCIM, EN LA SUBESTACION DE ARRANQUE DE LA PLANTA UBICADA EN EL SECTOR SAN RAFAEL – LATACUNGA, PERIODO 2013.”**, de la autoría de los señores Caisa Yupangui Luis Héctor y Collaguaso Paredes Marco Paul, postulantes de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas especialidad Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte científico-técnico suficientes para ser sometida a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Académico de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

.....  
**Ing. Vicente Quispe**  
**Director de Tesis**

## **CERTIFICACION DE LA EMPRESA**

En calidad de Coordinador Eléctrico de la Empresa Holcim S.A., autorizo a los señores estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi Caisa Yupangui Luis Héctor, con cédula de identidad N° 050343270-0 y Collaguaso Paredes Marco Paul, con cédula de identidad N° 050325761-0 para el uso de información del sistema eléctrico perteneciente a nuestra Empresa, para el desarrollo de su tesis de grado: **“ESTUDIO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN DISYUNTOR DE POTENCIA DE 69 KV CON SUS RESPECTIVAS PROTECCIONES PARA LA EMPRESA HOLCIM, EN LA SUBESTACION DE ARRANQUE DE LA PLANTA UBICADA EN EL SECTOR SAN RAFAEL – LATACUNGA, PERIODO 2013.”**

Latacunga, Abril, del 2014

Atentamente,

.....  
**Ing. ROBERTO QUIROZ, Msc.**  
**Coordinador Dpto. Eléctrico**  
**Holcim Ecuador**  
**Planta Latacunga**  
**roberto.quiroz@holcim.com**

## CERTIFICADO ABSTRACT

Yo, Lic. Fabiola Cando Msc., portadora de la C.I. 0502884604, docente de la Universidad Técnica de Cotopaxi en el área de inglés CERTIFICO haber revisado la traducción de resumen de la tesis: **“ESTUDIO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN DISYUNTOR DE POTENCIA DE 69 KV CON SUS RESPECTIVAS PROTECCIONES PARA LA EMPRESA HOLCIM, EN LA SUBESTACIÓN DE ARRANQUE DE LA PLANTA UBICADA EN EL SECTOR SAN RAFAEL – LATACUNGA, PERÍODO 2013.”** de los señores postulantes Caisa Yupangui Luis Héctor y Collaguaso Paredes Marco Paul, expresan gramática y estructuralmente similar significado al RESUMEN del mencionado documento.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a los señores antes mencionados hacer uso del presente documento, en la forma que estime conveniente.

Latacunga, Febrero, 2013.

.....  
**Lic. Fabiola Cando Msc.**  
**C.I. 050288460-4**

## DEDICATORIA

*A mi DIOS, por darme el regalo más grande de la vida que son mis padres quienes me han brindado la salud, fortaleza, honestidad, ánimos y apoyo incondicional para cumplir con este sueño tan anhelado.*

*A mis padres Miguel y Ubaldina, quienes han sido el pilar fundamental para formarme como persona de bien inculcándome hábitos de responsabilidad, sencillez y humildad, esfuerzo que han hecho para verme como un profesional ético y responsable.*

*A mi abuelito Andrés, hermanos, tíos y las personas que más quiero, por confiar y mantener esa chispa de esperanza viva para triunfar y conseguir este logro en mi vida.*

*Luis Héctor....*

## DEDICATORIA

*A mi padre Marco por ser una fuente inagotable de cariño, sacrificio, esfuerzo y confianza que ha cautivado en mí el sentimiento de admiración hacia su persona por la humildad y valores que lo caracterizan, a mi madre Martha por ser la ternura y fortaleza en los momentos de debilidad y desesperación que nunca permitió que me invadan y al gran amor de mi vida Pilar la mujer que me dio la expectativa y el horizonte para seguir a pesar de los advenimientos y dificultades con el fin de lograr las metas trazadas, para ustedes el logro más importante de mi vida, los amo mucho.*

*Marco Paul....*

## AGRADECIMIENTO

*A dios por darme la vida y fortaleza para poder alcanzar este logro tan anhelado y culminar la carrera de Ingeniería Eléctrica, a la UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI, Templo del saber que me permitió ingresar a sus aulas.*

*A la comunidad Holcim S.A-Planta Latacunga, ELEPCO S.A. y al director de tesis Ing. Vicente Quispe que nos brindó la apertura y confianza para cumplir con objetividad este trabajo de grado.*

*A mis padres Miguel y Ubaldina, docentes, amigos quienes con sus sabias enseñanzas contribuyeron a cultivar los hábitos de estudio, conocimientos y experiencias permitiéndome formar así un profesional ético capaz de relacionar la teoría con la práctica y así ponerla al servicio de la sociedad.*

*Luis Héctor....*

## AGRADECIMIENTO

*Un agradecimiento infinito y eterno a mis padres porque fueron, son y serán los cimientos de mi vida, papito Marco y mamita Martha gracias al duro sacrificio suyo llegue a lograr una de las metas más importantes de mi vida, espero tenerlos siempre a mi lado porque sé que con sus sabias palabras me darán la pauta para seguir el camino correcto, a mis hermanitas Jessy y Evelyn, a mi tío Carlos, a mi tía Fabi a mis abuelitos Carlos y Claudia y a toda mi familia, los quiero mucho.*

*A la comunidad Holcim S.A-Planta Latacunga, ELEPCO S.A. y al director de tesis Ing. Vicente Quispe que nos brindó la apertura y confianza para cumplir con objetividad este trabajo de grado.*

*Marco Paul....*

## INDICE GENERAL

<b>APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO</b> .....	II
<b>AUTORIA</b> .....	III
<b>CERTIFICACION DEL DIRECTOR DE TESIS</b> .....	IV
<b>CERTIFICACION DE LA EMPRESA</b> .....	V
<b>DEDICATORIA</b> .....	VII
<b>DEDICATORIA</b> .....	VIII
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	IX
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	X
<b>INDICE GENERAL</b> .....	XI
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	XV
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	XVII
<b>RESUMEN</b> .....	XIX
<b>ABSTRACT</b> .....	XX
<b>INTRODUCCION</b> .....	XXI
<b>CAPITULO I</b> .....	1
<b>1 MARCO TEORICO</b> .....	1
1.1 Sistema Eléctrico de Potencia (S.E.P.).....	1
1.2 Sistemas de Subtransmisión .....	2
1.3 Subestación.....	2
1.3.1 <i>Subestaciones de switcheo o seccionadoras</i> .....	3
1.3.1.1 <i>Disyuntor o interruptor de potencia</i> .....	4

1.3.1.1.1	<i>Interruptores en aire</i>	5
1.3.1.1.2	<i>Interruptores en vacío</i>	6
1.3.1.1.3	<i>Interruptores en aceite</i>	7
1.3.1.1.4	<i>Interruptores en gas</i>	8
1.3.2	<i>Seccionadores o cuchillas desconectoras</i>	10
1.3.3	<i>Transformadores de instrumento</i>	10
1.3.3.1	<i>Transformadores de Corriente (TC)</i>	11
1.3.3.2	<i>Transformadores de Potencial (TP)</i>	11
1.3.4	<i>Relés</i>	12
1.3.4.1	<i>Características principales de los relevadores</i>	13
1.3.4.1.1	<i>Rapidez de operación</i>	13
1.3.4.1.2	<i>Sensibilidad</i>	14
1.3.4.1.3	<i>Selectividad</i>	14
1.3.5	<i>Protección por relevadores de líneas de 69 kV</i>	15
1.3.5.1	<i>Relé instantáneo de sobreintensidad (50)</i>	15
1.3.5.2	<i>Relé de sobreintensidad temporizado (51)</i>	15
1.4	<i>Fallas simétricas y asimétricas</i>	16
1.4.1	<i>Fallas simétricas</i>	16
1.4.2	<i>Fallas asimétricas</i>	16
1.5	<i>Criterios para el dimensionamiento de un disyuntor de potencia</i>	17
1.5.1	<i>Voltaje nominal</i>	18
1.5.2	<i>Voltaje de diseño</i>	18
1.5.3	<i>Corriente nominal</i>	19
1.5.4	<i>Frecuencia nominal</i>	20
1.5.5	<i>Capacidad de interrupción simétrica y asimétrica</i>	20
1.5.5.1	<i>Capacidad de interrupción simétrica</i>	20
1.5.5.2	<i>Capacidad de interrupción asimétrica</i>	21
1.5.6	<i>Capacidad de cierre en corto circuito</i>	21
1.5.6.1	<i>Corrientes de cierre</i>	21
1.5.7	<i>Ciclo de operación nominal</i>	22
1.5.8	<i>Voltaje transitorio de restablecimiento (TRV)</i>	22
1.5.9	<i>Nivel Básico de Aislamiento (BIL)</i>	23

1.5.9.1	<i>Impulso de rayo normalizado</i>	23
1.6	Software NEPLAN VERSION 5.24	25
1.6.1	<i>Descripción del sistema de Planeamiento NEPLAN</i>	25
<b>CAPITULO II</b>		27
<b>2 PRESENTACION, INTERPRETACION Y ANALISIS DE RESULTADOS</b>		27
2.1	Aspectos generales de la Empresa Holcim Ecuador S.A. Planta Latacunga	27
2.1.1	<i>Antecedentes</i>	27
2.2	Interpretación y análisis de resultados	28
2.3	Tabla general de encuesta realizada al personal de ELEPCO S.A., y Holcim Ecuador S.A. Planta Latacunga	39
2.4	Verificación de la Hipótesis	40
2.4.1	<i>Hipótesis</i>	40
2.5	Determinación de parámetros eléctricos para el dimensionamiento del disyuntor de potencia	41
2.5.1	<i>Simulación de corrida de flujos de potencia Ambato-San Rafael...</i>	42
2.5.2	<i>Simulación de corrida de flujos de potencia Mulaló-Fairis</i>	44
2.5.3	<i>Simulación de cortocircuitos 3<math>\phi</math> y 1<math>\phi</math>, mediante el método IEC 60909 del sistema eléctrico Ambato – Latacunga - Mulaló</i>	46
2.5.3.1	<i>Simulación de corrientes de cortocircuito trifásica</i>	47
2.5.3.2	<i>Simulación de corrientes de cortocircuito monofásica</i>	48
2.5.4	<i>Parámetros eléctricos necesarios para el dimensionamiento del disyuntor</i>	49
2.5.4.1	<i>Voltaje nominal</i>	49
2.5.4.2	<i>Voltaje de diseño</i>	49
2.5.4.3	<i>Corriente nominal</i>	49
2.5.4.4	<i>Frecuencia nominal</i>	50
2.5.4.5	<i>Capacidades de interrupción simétrica y asimétrica</i>	50
2.5.4.5.1	<i>Capacidad de interrupción simétrica</i>	50
2.5.4.5.2	<i>Capacidad de interrupción asimétrica</i>	50
2.5.4.6	<i>Capacidad de cierre en cortocircuito</i>	50

2.5.4.7	<i>Nivel Básico de Aislamiento</i>	51
<b>CAPITULO III</b> ..... 52		
<b>3</b>	<b>PROPUESTA</b> ..... 52	
3.1	Desarrollo de la propuesta..... 52	
3.1.1	<i>Tema:</i> ..... 52	
3.2	Presentación..... 52	
3.3	Justificación..... 53	
3.4	Objetivo ..... 54	
3.4.1	<i>Objetivo General</i> ..... 54	
3.5	Análisis de factibilidad..... 54	
3.5.1	<i>Viabilidad económica</i> ..... 54	
3.5.1.1	<i>Inversión</i> ..... 55	
3.5.1.2	<i>Depreciación</i> ..... 56	
3.5.1.3	<i>Activo Diferido</i> ..... 57	
3.5.1.4	<i>Capital de trabajo</i> ..... 57	
3.5.1.5	<i>Inversión total</i> ..... 58	
3.5.2	<i>Viabilidad técnica-operacional</i> ..... 59	
3.6	Desarrollo de la propuesta..... 60	
3.6.1	<i>Situación actual de la Subestación de arranque de la Empresa Holcim-Planta Latacunga.</i> ..... 60	
3.6.2	<i>Simulación del análisis de corrientes de cortocircuito del sistema eléctrico de potencia que involucra a la Empresa Holcim.</i> ..... 63	
3.6.2.1	<i>Resultados de la simulación de corrientes de cortocircuito del sistema eléctrico Holcim</i> ..... 63	
3.6.3	<i>Determinación de parámetros eléctricos nominales para el dimensionamiento del disyuntor de potencia.</i> ..... 64	
3.7	Ajustes operacionales de los relés de protección de sobrecorriente existentes en el sistema eléctrico de potencia ..... 69	
3.8	Determinación de los ajustes de los relés de protección de sobrecorriente para la subestación de arranque de la Empresa Holcim-Planta Latacunga ..... 73	

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>89</b>
<b>GLOSARIO DE TERMINOS Y SIGLAS .....</b>	<b>91</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>97</b>

### **INDICE DE FIGURAS**

<b>FIGURA 1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN S.E.P. ....</b>	<b>1</b>
<b>FIGURA 2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE SUBTRANSMISIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>FIGURA 3 SUBESTACION ELECTRICA .....</b>	<b>2</b>
<b>FIGURA 4 INTERRUPTOR EN AIRE.....</b>	<b>5</b>
<b>FIGURA 5 INTERRUPTOR EN VACIO .....</b>	<b>6</b>
<b>FIGURA 6 INTERRUPTOR EN ACEITE.....</b>	<b>7</b>
<b>FIGURA 7 FUNCIONAMIENTO DE UN INTERRUPTOR EN SF6 .....</b>	<b>9</b>
<b>FIGURA 8 INTERRUPTOR EN GAS .....</b>	<b>9</b>
<b>FIGURA 9 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE .....</b>	<b>11</b>
<b>FIGURA 10 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL.....</b>	<b>12</b>
<b>FIGURA 11 ELEMENTOS DE UN ESQUEMA DE PROTECCION .....</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA 12 FALLA SIMETRICA .....</b>	<b>16</b>
<b>FIGURA 13 FALLAS ASIMETRICAS .....</b>	<b>17</b>
<b>FIGURA 14 COMPONENTE DE UNA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO .....</b>	<b>20</b>
<b>FIGURA 15 VENTANA PRINCIPAL SOFTWARE NEPLAN 5.24.....</b>	<b>25</b>

<b>FIGURA 16</b> PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 1 .....	29
<b>FIGURA 17</b> PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 2 .....	30
<b>FIGURA 18</b> PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 3 .....	31
<b>FIGURA 19</b> PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 4 .....	32
<b>FIGURA 20</b> PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 5 .....	33
<b>FIGURA 21</b> PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 6 .....	34
<b>FIGURA 22</b> PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 7 .....	35
<b>FIGURA 23</b> PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 8 .....	36
<b>FIGURA 24</b> PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 9 .....	37
<b>FIGURA 25</b> PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 10 .....	38
<b>FIGURA 26</b> ALIMENTADOR 69 KV AMBATO – LATACUNGA.....	42
<b>FIGURA 27</b> ALIMENTADOR 69 KV MULALO – LATACUNGA .....	44
<b>FIGURA 28</b> ANALISIS DE CORTOCIRCUITO 3Ø Y 1Ø EN NODOS DE 69 KV .....	46
<b>FIGURA 29</b> SUBESTACION DE ARRANQUE HOLCIM .....	61
<b>FIGURA 30</b> DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE POTENCIA .....	62
<b>FIGURA 31</b> INTERRUPTOR DE POTENCIA DE 69 KV .....	68
<b>FIGURA 32</b> DIAGRAMA UNIFILAR DE PRETECCIONES DE SOBRECORRIENTE 51F Y 51N DEL SISTEMA ELECTRICO.....	75
<b>FIGURA 33</b> CURVAS DE RELES 51F AMBATO-HOLCIM .....	76
<b>FIGURA 34</b> REAJUSTE DIAL ALIMENTADOR AMBATO-LATACUNGA	78
<b>FIGURA 35</b> CURVAS DE RELES 51N AMBATO-HOLCIM.....	80
<b>FIGURA 36</b> DIAGRAMA TRIFILAR DE LA SUBESTACION SECCIONADORA DE ARRANQUE DE LA EMPRESA HOLCIM .....	86

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1</b> RELACION ENTRE VOLTAJE Y TIPO DE INTERRUPTOR.....	4
<b>TABLA 2</b> VOLTAJES NOMINALES Y MAXIMOS DE DISEÑO .....	18
<b>TABLA 3</b> EVALUACION MAXIMA DE TEMPERATURA PARA LAS DIFERENTES PARTES DE UN INTERRUPTOR .....	19
<b>TABLA 4</b> NIVELES DE AISLAMIENTO NORMALIZADOS.....	24
<b>TABLA 5</b> VALORACION DE PREGUNTA 1 .....	29
<b>TABLA 6</b> VALORACION DE PREGUNTA 2.....	30
<b>TABLA 7</b> VALORACION DE PREGUNTA 3.....	31
<b>TABLA 8</b> VALORACION DE PREGUNTA 4.....	32
<b>TABLA 9</b> VALORACION DE PREGUNTA 5.....	33
<b>TABLA 10</b> VALORACION DE PREGUNTA 6.....	34
<b>TABLA 11</b> VALORACION DE PREGUNTA 7 .....	35
<b>TABLA 12</b> VALORACION DE PREGUNTA 8.....	36
<b>TABLA 13</b> VALORACION DE PREGUNTA 9.....	37
<b>TABLA 14</b> VALORACION DE PREGUNTA 10.....	38
<b>TABLA 15</b> DATOS DE LA ENCUESTA EN FRECUENCIA Y PORCENTAJE .....	39
<b>TABLA 16</b> COMPROBACION DE LA HIPOTESIS .....	40
<b>TABLA 17</b> CORRIDA DE FLUJOS AMBATO-HOLCIM.....	43
<b>TABLA 18</b> CORRIDA DE FLUJOS MULALO-HOLCIM .....	45
<b>TABLA 19</b> ANALISIS DE C.C. 3Ø DEL SISTEMA ELECTRICO HOLCIM .	47
<b>TABLA 20</b> ANALISIS DE C.C. 1Ø DEL SISTEMA ELECTRICO HOLCIM .	48
<b>TABLA 21</b> INVERSION EN EQUIPOS ELECTRICOS .....	55

<b>TABLA 22</b> INVERSION FIJA .....	56
<b>TABLA 23</b> DEPRECIACION DE ACTIVOS FIJOS.....	57
<b>TABLA 24</b> AMORTIZACION DE ACTIVO DIFERIDO .....	57
<b>TABLA 25</b> CAPITAL DE TRABAJO.....	58
<b>TABLA 26</b> INVERSION TOTAL .....	58
<b>TABLA 27</b> CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO EN NODOS DE 69 KV ...	63
<b>TABLA 28</b> PARAMETROS ELECTRICOS REQUERIDOS PARA EL DISYUNTOR DE POTENCIA.....	66
<b>TABLA 29</b> CAPACIDADES NOMINALES DE DISYUNTORES AISLADOS EN SF6.....	67
<b>TABLA 30</b> AJUSTES DE PROTECCION DE SOBRECORRIENTE AMBATO- LATACUNGA.....	70
<b>TABLA 31</b> AJUSTES DE PROTECCION DE SOBRECORRIENTE DE LA S/E SAN RAFAEL .....	71
<b>TABLA 32</b> AJUSTES DE PROTECCION DE SOBRECORRIENTE DE LA EMPRESA HOLCIM .....	72
<b>TABLA 33</b> ESPECIFICACION DE COLOR DE CURVAS DE SOBRECORRIENTE .....	74
<b>TABLA 34</b> AJUSTES DE LAS PROTECCIONES DE SOBRECORRIENTE DE FASE 51F DEL SISTEMA.....	77
<b>TABLA 35</b> REAJUSTES DE LAS PROTECCIONES DE SOBRECORRIENTE DE FASE 51F DEL SISTEMA.....	79
<b>TABLA 36</b> AJUSTES DE PROTECCION DE SOBRECORRIENTE FALLA A TIERRA 51N DEL SISTEMA.....	81
<b>TABLA 37</b> DISYUNTOR DE POTENCIA PROPUESTO.....	82
<b>TABLA 38</b> RECAPITULACION DE LOS AJUSTES DE LAS PROTECCIONES DE SOBRECORRIENTE .....	84

## RESUMEN

La investigación del presente trabajo de tesis se elaboró con el objetivo de dimensionar y proponer un disyuntor de potencia con características y parámetros eléctricos para la subestación de arranque de 69 kV de la Empresa Holcim S.A. Planta-Latacunga, mediante la utilización de la encuesta como un instrumento de investigación para la recolección de información en tiempo real de la Empresa en estudio y consecuentemente la interpretación, tabulación, graficación y análisis de la misma que garantizó la comprobación de la hipótesis generada. El desarrollo técnico del trabajo utilizó una guía de normas estandarizadas de la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), para que el equipo eléctrico cumpla con los requerimientos necesarios y esté en la capacidad de interrumpir el flujo de energía tanto en condiciones normales (con carga o sin carga) así como también en condiciones anormales (falla, cortocircuito, etc.) de la Planta que actuará bajo el mando de un sistema de control para la operación de apertura o cierre del equipo dentro del sistema eléctrico de potencia. El estudio realizado cuenta con el análisis de flujo de carga del sistema eléctrico, definición de características eléctricas del disyuntor de potencia para la realidad de las operaciones Holcim y ajustes pertinentes de las protecciones de sobrecorriente que se resumen en simular, definir y coordinar el equipo eléctrico indicado que se ajustará al sistema eléctrico de potencia que mejorará la maniobrabilidad y operación de la subestación con su posterior implementación, objetivos los cuales se lograron y se desarrollaron en forma sistemática y organizada. El presente estudio cuenta con el respaldo y la colaboración de instituciones como ELEPCO S.A. y Holcim S.A. los cuales contribuyeron con la adquisición de información verídica de la topología del sistema eléctrico de potencia así como también con la opinión y sugerencias técnicas durante el desarrollo del presente trabajo.

## **ABSTRACT**

The research of this thesis work was developed with the aim of sizing and propose a power circuit breaker electrical characteristics and parameters for the substation 69 kV Boot Company Holcim SA Plant- Latacunga, using the survey as a research tool for gathering real-time information of the Company under study and consequently the interpretation, tabulation, graphing and analysis that guaranteed the same hypothesis testing generated. The technical development work used a guide to standardized guidelines of IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), so that the electrical equipment meets the necessary requirements and is in the ability to interrupt the energy flow under normal conditions (with or no load) as well as abnormal conditions (failure, shortcircuit, etc.) Plant acting under the command of a control system for opening and closing operation of the equipment in the power system. The study has the load flow analysis of the electrical system, definition of electrical characteristics of the power circuit breaker to the reality of Holcim operations and adjustments of overcurrent protection are summarized in simulation, define and coordinate electrical equipment indicated to be matched to the power system will improve the handling and operation of the substation with subsequent implementation objectives were achieved and which were developed in a systematic and organized way. The present study has the support and collaboration of institutions like ELEPCO SA and Holcim SA which contributed to the acquisition of accurate information of the topology of the power system as well as with the technical review and suggestions during the development of this work.

## INTRODUCCION

La energía eléctrica hoy en día es un recurso fundamental en el desarrollo de la sociedad que demanda satisfacer necesidades de tipo residencial, comercial e industrial, recurso que es posible originar a través de diferentes procesos que se dan en las centrales; hidroeléctricas, térmicas, fotovoltaicas, eólicas, etc., posteriormente debe ser transportada en grandes bloques al menor costo posible para después ser distribuida en los diferentes centros de consumo.

El conjunto de los bloques de generación, transmisión/subtransmisión y distribución de energía eléctrica se la denomina como un Sistema Eléctrico de Potencia (S.E.P.), un SEP está literalmente unido por medio de subestaciones eléctricas (elevadoras, reductoras o de maniobra) que dependiendo de la función que realicen modifican los parámetros de voltaje y corriente para llegar desde su generación hasta su distribución. Una subestación eléctrica es un conglomerado de máquinas, aparatos y circuitos eléctricos que garantizan con ellos la seguridad para el sistema eléctrico, para los mismos equipos y para el recurso humano involucrado en las operaciones y mantenimiento del sistema.

Uno de los elementos de protección que forma parte de una subestación eléctrica es el disyuntor de potencia cuya función es actuar en caso de falla o contingencia eléctrica del sistema, como también por cortes de energía programadas ya sea por mantenimiento o por cortes de energía no programadas, es decir, dificultades de suministro de energía de la red, ya que los disyuntores de potencia están en la capacidad de realizar una maniobra de apertura o cierre del sistema cuando fluye corriente a través de ellos, todo lo contrario a la función que realizan los seccionadores.

La presente investigación se encuentra estructurada por tres capítulos:

El Primer Capítulo se enfocará en el MARCO TEORICO, en el cual se describe de manera muy general todos los argumentos y postura teórica adoptada durante el desarrollo del presente trabajo de investigación, enunciando las normas estándar y definiciones básicas que están relacionadas con un sistema eléctrico de potencia, para centrarnos en conceptos de dimensionamiento de disyuntores de potencia de 69 kV.

El Segundo Capítulo hace referencia a la METODOLOGIA empleada para el desarrollo de la investigación, la misma que es considerada como una investigación de campo, que se sirve de la encuesta como un instrumento para recaudar datos con las que se interpreta, analiza y evalúa el proyecto, adicionalmente se realiza la simulación de flujo de carga y cortocircuito del sistema eléctrico de la Planta, mediante la utilización de NEPLAN versión 5.24 que es un software de análisis de sistemas eléctricos de potencia y finalmente la realización de los respectivos cálculos que definen las características eléctricas del disyuntor.

En el Tercer Capítulo se realiza la PROPUESTA, efectuado el cálculo de los parámetros eléctricos del disyuntor, se plantea la mejor opción para seleccionar el equipo óptimo y adecuado para ser puesto en consideración a la Empresa Holcim S.A. Planta-Latacunga y satisfacer la realidad de sus operaciones, así como también se realiza los ajustes de las protecciones de sobrecorriente y se elabora el presupuesto estimativo de la totalidad del proyecto.

Finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones surgidas en el transcurso del desarrollo del trabajo de tesis que servirán para la posterior implementación del disyuntor de potencia, como también se menciona el glosario de términos y siglas, la bibliografía citada, consultada, virtual y anexos.

# CAPITULO I

## 1 MARCO TEORICO

### 1.1 Sistema Eléctrico de Potencia (S.E.P.)

Es un conjunto de operaciones sistemáticas de: producción, transmisión y distribución de energía eléctrica que tienen el propósito de dotar de energía a sus usuarios, está conformada por tres etapas principales GENERACION, TRANSMISION Y DISTRIBUCION.

**FIGURA 1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN S.E.P.**



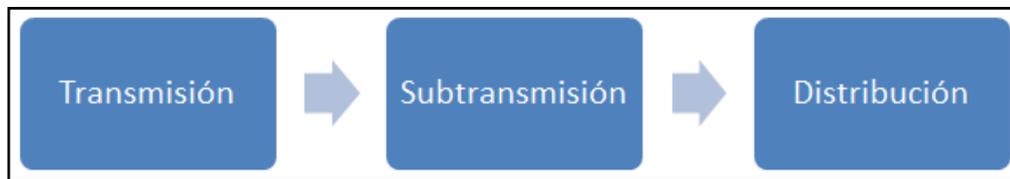
**Fuente:** Diagrama de Bloques de un S.E.P.

**Elaborado por:** Investigadores.

## 1.2 Sistemas de Subtransmisión

Es un enlace físico conformado por líneas de subtransmisión, subestaciones y grandes consumidores de energía eléctrica, que no pertenecen al Sistema Nacional de Transmisión (S.N.T.), se las puede considerar como un punto de conexión intermedio entre los sistemas de transmisión y distribución, generalmente son propiedad de las empresas distribuidoras que operan a un nivel de voltaje de 69 kV.

**FIGURA 2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE SUBTRANSMISIÓN**



**Fuente:** Diagrama de Bloques de un Sistema de Subtransmisión.

**Elaborado por:** Investigadores.

## 1.3 Subestación

Es un espacio físico para la disposición de un conjunto de equipos y dispositivos eléctricos, que dirigen transforman o seccionan el flujo de energía eléctrica de una red.

**FIGURA 3 SUBESTACION ELECTRICA**



**Fuente:** <http://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/81285> (S/E)

**Elaborado por:** Investigadores.

Las subestaciones eléctricas mediante sus equipos también monitorean, detectan y despejan fallas, con el fin de proteger equipos y recurso humano involucrado en las operaciones del sistema eléctrico de potencia.

Según su función se las puede clasificar en:

- ✓ Subestaciones elevadoras.
- ✓ Subestaciones reductoras.
- ✓ Subestaciones de switcheo o seccionadoras.
- ✓ Subestaciones mixtas.

Se desarrolló el concepto de subestaciones seccionadoras, ya que el presente estudio se realizará en la subestación seccionadora de arranque de la Empresa Holcim.

### ***1.3.1 Subestaciones de switcheo o seccionadoras***

ENRIQUEZ, Gilberto (2005, p. 41) dice: “en estas subestaciones no se tienen transformadores de potencia, ya que no se requiere modificar el nivel de voltaje de las fuentes de alimentación y solo se hacen operaciones de conexión o desconexión (maniobra o switcheo)”.

Como se describe en la premisa anterior este tipo de subestaciones sirven para seccionar carga o fallas del sistema, siendo el componente principal el disyuntor de potencia como equipo de maniobra dentro de la bahía de la subestación. Los elementos primarios de una subestación seccionadora son:

- ✓ Disyuntor de Potencia.
- ✓ Cuchillas desconectadoras o seccionadores.
- ✓ Transformador de Potencial (TP's) y de Corriente (TC's).
- ✓ Protección por Relevadores.

### 1.3.1.1 Disyuntor o interruptor de potencia

ENRIQUEZ, Gilberto (2002, p. 238) dice: “los interruptores son los elementos cuya función es desconectar los circuitos bajo condiciones de corriente nominal, vacío o cortocircuito, es decir, con condiciones normales o anormales”. En el momento de operación de los disyuntores bajo condiciones de carga o por despejar una falla, al abrir sus contactos en ellos se produce un fenómeno de gran magnitud llamado **ARCO ELECTRICO**, fenómeno eléctrico que representa una condición desfavorable para los disyuntores.

Un **ARCO ELECTRICO** es una descarga disruptiva generada por la ionización de un medio gaseoso (ej. el aire), haciéndolo conductor lo que facilita la circulación de corriente, es decir, es producto de la diferencia de potencial entre dos contactos o electrodos, liberando una gran cantidad de energía eléctrica y térmica entre los contactos del disyuntor.

Los disyuntores o interruptores de potencia utilizan varias tecnologías para controlar y extinguir el arco eléctrico, entre ellos podemos citar los siguientes:

- ✓ Interruptores en aire.
- ✓ Interruptores en vacío.
- ✓ Interruptores en aceite.
- ✓ Interruptores en gas.

**TABLA 1 RELACION ENTRE VOLTAJE Y TIPO DE INTERRUPTOR**

MEDIO DE EXTINCION	NIVELES DE VOLTAJE EN kV								
	0	1	3	12	24	36	72.5	245	765
AIRE									
VACIO									
ACEITE									
GAS									

**Fuente:** Relación entre voltaje nominal y tipo de interruptor.

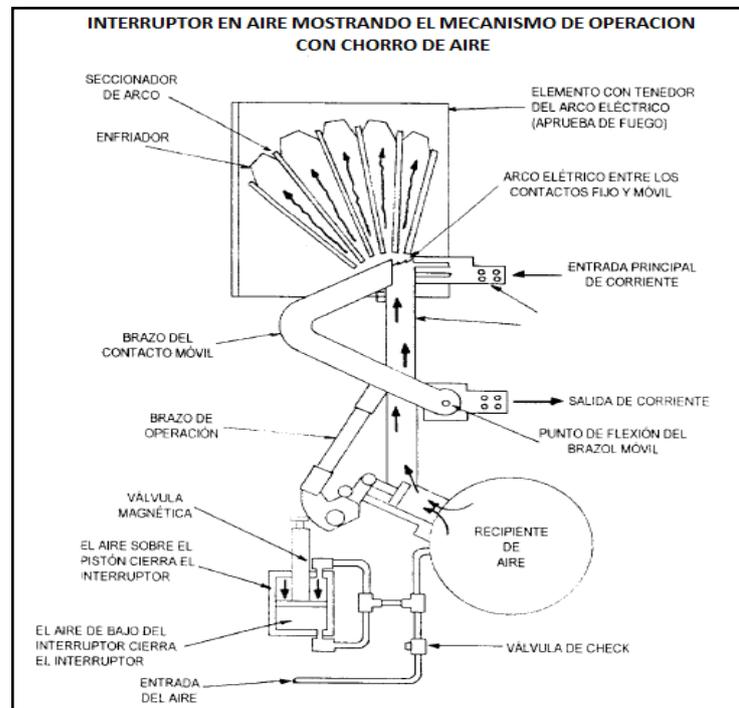
**Elaborado por:** Investigadores.

### 1.3.1.1.1 Interruptores en aire

Los interruptores en aire interrumpen el flujo de energía solo con aire entre sus contactos y generalmente son usados en instalaciones en interiores, estos interruptores pueden ser utilizados en instalaciones exteriores siempre y cuando que su mecanismo, controles, etcétera, se instalen en infraestructuras sencillas que soporten las variaciones bruscas del clima, es decir, la intemperie.

Para describir el funcionamiento de los interruptores en aire, ENRIQUEZ, Gilberto (2011, p. 118) dice: “El aire de una fuente de aire comprimido se usa, ya sea para abrir o para cerrar la navaja de los contactos móviles bajo carga eléctrica, un arco se iniciará entre la navaja móvil y los contactos fijos. Para prevenir daño por calentamiento, se inyecta un chorro de aire justo en el momento en el que se debe extinguir el arco.”

**FIGURA 4 INTERRUPTOR EN AIRE**



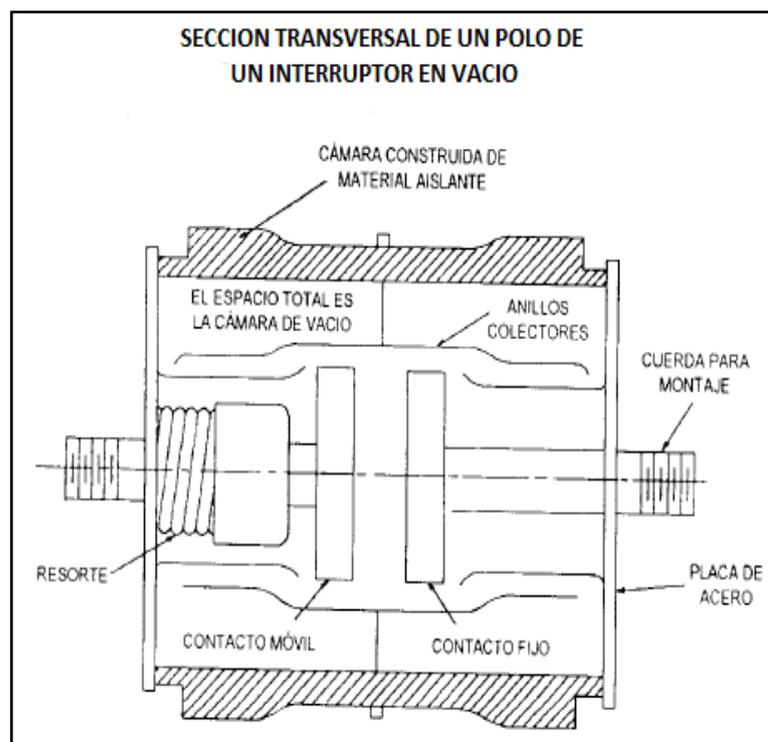
**Fuente:** “Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales”, ENRIQUEZ Gilberto.

### 1.3.1.1.2 Interruptores en vacío

La tecnología que utiliza este tipo de interruptores se debe a la alta rigidez dieléctrica que presenta el vacío, en el que se encuentra inmerso o encapsulado la configuración de dos contactos, ya que el vacío constituye una ausencia de cualquier sustancia y por lo tanto la carencia de electrones ofrecen una excelente alternativa para apagar en forma efectiva el arco.

ENRIQUEZ, Gilberto (2011, p. 120) dice: “dentro de las ventajas que se tienen, se pueden mencionar las siguientes: son más rápidos para extinguir el arco eléctrico, producen menos ruido durante la operación, el tiempo de vida de los contactos es mayor y elimina o reduce sensiblemente el riesgo de explosiones potenciales por presencia de gases o líquidos”.

**FIGURA 5 INTERRUPTOR EN VACIO**



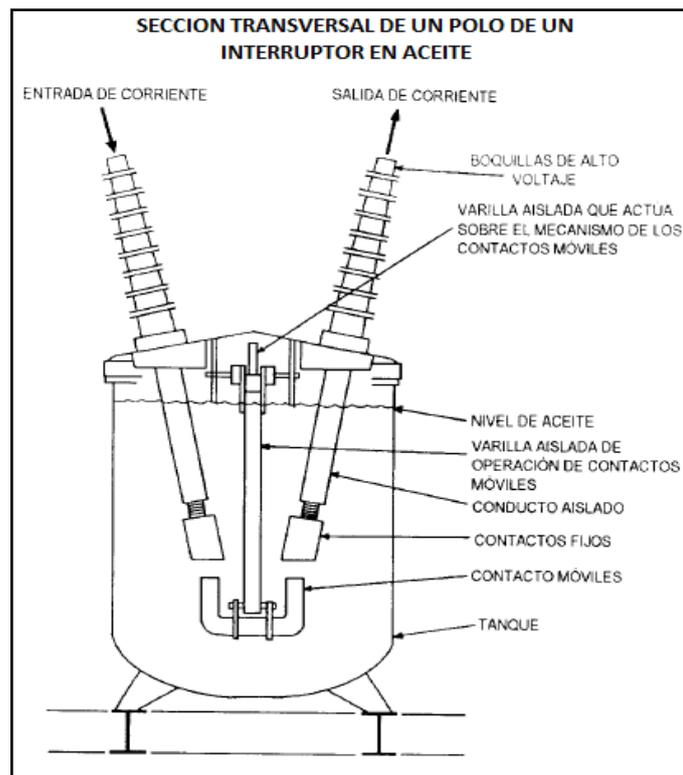
**Fuente:** “Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales”, ENRIQUEZ Gilberto.

### 1.3.1.1.3 Interruptores en aceite

Esta clase de elementos de interrupción incluyen los interruptores de gran volumen así como los de pequeño volumen de aceite, ya que comparten el mismo principio de corte de corriente, el cual es instalar el mecanismo de operación y sus contactos en un recipiente que contiene aceite dieléctrico semejante al empleado en los transformadores, logrando que el arco eléctrico que se genera al abrir sus contactos se extinga por medio del aceite.

Los interruptores en aceite atribuyen a su utilidad la facilidad para su construcción, alta capacidad de ruptura, pueden utilizarse en forma manual o automática, se aplican por lo general en rangos de voltaje de 2.4 a 400 kV.

**FIGURA 6 INTERRUPTOR EN ACEITE**



**Fuente:** “Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales”, ENRÍQUEZ Gilberto.

#### **1.3.1.1.4 Interruptores en gas**

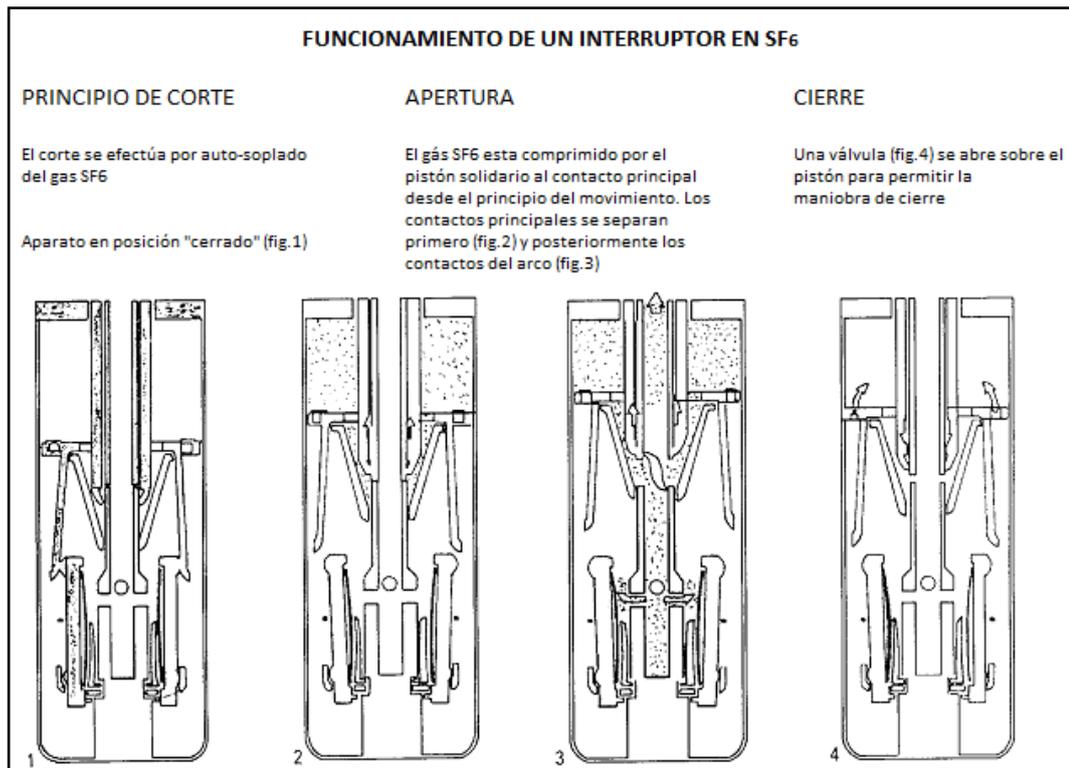
Los interruptores en gas por lo general son de hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ), se utilizan normalmente en alto voltaje y extra alto voltaje (hasta 765 kV), en estos interruptores las cámaras de extinción operan dentro de un gas ( $\text{SF}_6$ ), pesado, incoloro y no tóxico, con una rigidez dieléctrica tres veces la del aire causado por los átomos extraordinariamente electronegativos de flúor.

Las principales razones que determinan su uso en equipos de alto voltaje son:

- ✓ Ser un excelente medio aislante.
- ✓ Alta rigidez dieléctrica, conductividad térmica y estabilidad química.
- ✓ Es auto-regenerable y no forma depósitos de material conductor después de la extinción del arco.
- ✓ Más compactos y durables los interruptores desde el punto de vista de mantenimiento.
- ✓ Capacidad dieléctrica superior a otros fluidos dieléctricos conocidos.

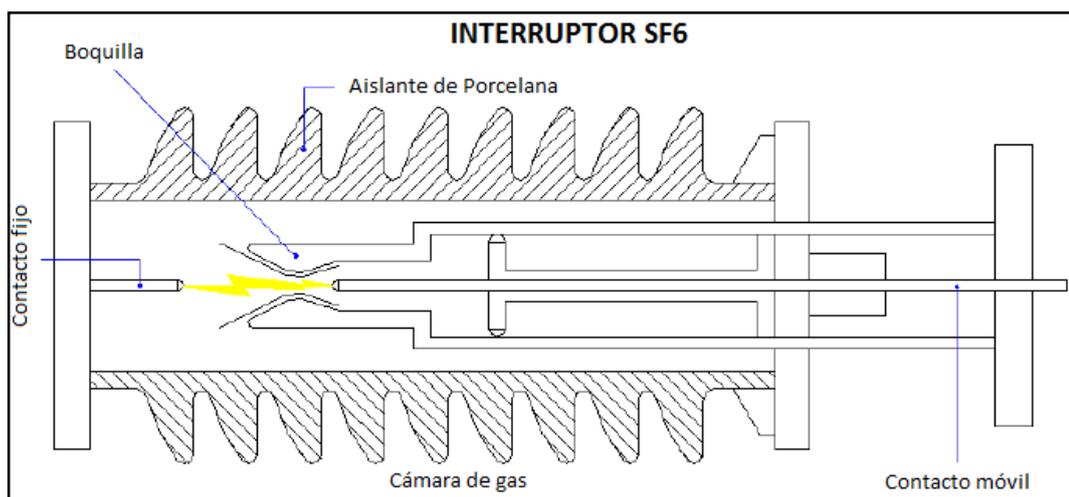
La composición que utilizan este tipo de interruptores hace que sean altamente estables, pueden operar durante largos años sin mantenimiento debido a que no se descomponen, no son abrasivos, ocupan menor espacio físico en las subestaciones, etcétera, estas características le han conferido un amplio uso en interruptores, siendo su principal desventaja el elevado costo inicial en su implementación.

**FIGURA 7 FUNCIONAMIENTO DE UN INTERRUPTOR EN SF6**



**Fuente:** “Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales”, ENRÍQUEZ Gilberto.

**FIGURA 8 INTERRUPTOR EN GAS**



**Fuente:** “Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales”, ENRÍQUEZ Gilberto.

Con respecto al tipo de accionamiento de los interruptores independientemente cual sea su tecnología de extinción de arco podemos agruparlos en accionamiento por resortes cuya característica principal es poseer una pequeña caja metálica adosada al cárter o base del interruptor o a un sistema de barras, accionamiento hidráulico los identificamos por un grupo motobomba, mangueras de alta y baja presión, además de un acumulador de nitrógeno con forma de cilindro y finalmente los neumáticos que se identifican visualmente por la presencia de un equipo compresor y un tanque acumulador de gran volumen.

Cabe recalcar que estos tipos de accionamientos pueden operar cada polo del interruptor de forma simultánea, es decir, mando tripolar o independientemente de mando monopolar.

### ***1.3.2 Seccionadores o cuchillas desconectadoras***

Son elementos eléctricos que operan sin carga, es decir, no pueden operar cuando fluye corriente eléctrica a través de ellos. Estos equipos pueden conectar y desconectar a tensión nominal, la ventaja de los seccionadores sobre los disyuntores es que se puede confirmar su conexión o desconexión de forma física.

### ***1.3.3 Transformadores de instrumento***

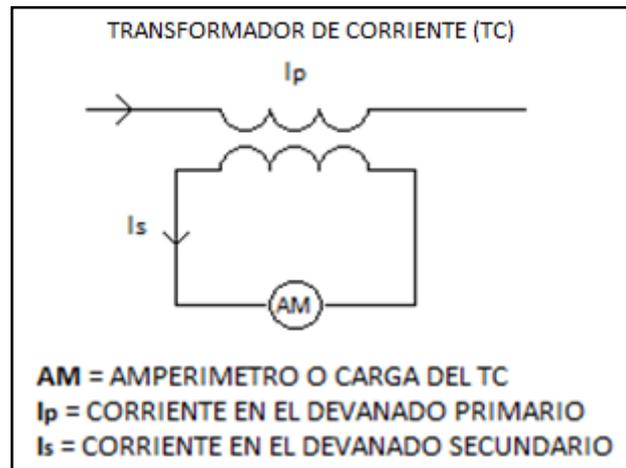
Este tipo de equipos eléctricos cuya función principal es la de reducir a escala, las magnitudes de voltaje y corriente, se dividen en dos tipos dependiendo la función que realizan.

- ✓ Transformadores de Corriente.
- ✓ Transformadores de Potencial.

### 1.3.3.1 Transformadores de Corriente (TC)

ENRIQUEZ, Gilberto (2011, p. 23) dice: “Estos T.I. reciben este nombre debido a que manejan señales de corriente, operan bajo el principio de inducción electromagnética, operan solo señal de corriente, no de potencia”.

**FIGURA 9 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE**



**Fuente:** “Elementos de Protección de Sistemas Eléctricos”, ENRIQUEZ Gilberto.

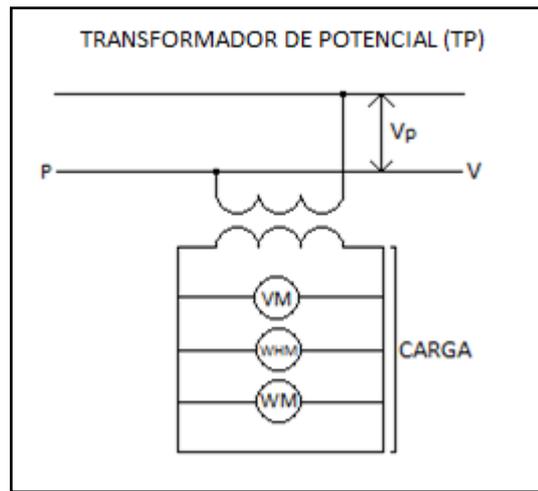
Características relevantes de un TC a especificar son las siguientes:

- ✓ Relación de transformación.
- ✓ Designación y clase de precisión.
- ✓ Número de devanados.
- ✓ Carga o burden.

### 1.3.3.2 Transformadores de Potencial (TP)

ENRIQUEZ, Gilberto (2011, p. 49) dice: “Los TP manejan la señal de voltaje en los circuitos eléctricos de alto voltaje y su función es aislar los instrumentos que alimenta en bajo voltaje del circuito primario de alto voltaje”.

**FIGURA 10 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL**



**Fuente:** “Elementos de Protección de Sistemas Eléctricos”, ENRÍQUEZ Gilberto.

Características relevantes de un TC a especificar son las siguientes:

- ✓ Relación de transformación.
- ✓ Designación o clase de precisión.
- ✓ Carga o burden.

#### **1.3.4 Relés**

Son equipos electromagnéticos o electrónicos que cumplen una función muy importante en el sistema de protecciones, ayudan a detectar, la falla desconectando automáticamente los interruptores cuando se presentan corrientes de cortocircuito, aislando o seccionando de esa manera los elementos que han fallado los sistemas eléctricos.

Los relevadores consisten de un elemento de operación y de un conjunto de contactos, y estos son diseñados de acuerdo a los siguientes tipos básicos:

- ✓ Electromecánicos.
- ✓ De estado sólido.
- ✓ Digitales.

Los de tipo electromecánico son los más antiguos y su uso es cada vez más restringido en los sistemas eléctricos de potencia, los de estado sólido son más modernos, ya que estos emplean electrónica de potencia y los digitales son los más modernos y más funcionales, pues emplean microprocesadores para su funcionamiento.

#### ***1.3.4.1 Características principales de los relevadores***

Las características que debe tener un sistema de protección son las siguientes:

- ✓ Rapidez de operación.
- ✓ Sensibilidad.
- ✓ Selectividad.

##### ***1.3.4.1.1 Rapidez de operación***

El objetivo de esta característica es lograr que una protección opere tan rápido como sea posible para de esta manera minimizar o reducir los efectos de una falla.

ENRIQUEZ, Gilberto (2011, p. 18) dice: “Las escalas de tiempo de operación de una protección se pueden medir en ciclos a la frecuencia del sistema, por ejemplo, se puede decir que una protección opera en el rango de 2 a 5 ciclos o también se pueden medir en milisegundos”.

#### **1.3.4.1.2      *Sensibilidad***

Las protecciones a base de relevadores deben detectar en forma independiente de la tecnología de las mismas señales de:

- ✓ Corriente (sobrecorriente).
- ✓ Voltaje (alto y bajo voltaje).
- ✓ Frecuencia.
- ✓ Potencia.
- ✓ Impedancia o admitancia.

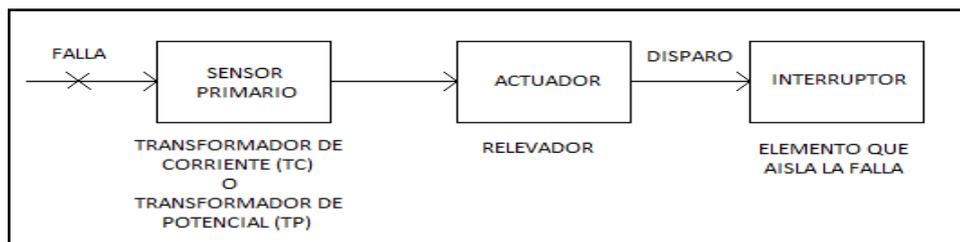
ENRIQUEZ, Gilberto (2011, p. 19) dice: “Estas señales pueden variar en un rango amplio, para que puedan discriminar los relevadores, si se trata de una condición de falla debe tener una respuesta con alta sensibilidad”.

#### **1.3.4.1.3      *Selectividad***

Un sistema de protecciones debe operar en un cierto orden sistemático que responde a criterios de confiabilidad de un determinado sistema eléctrico. ENRIQUEZ, Gilberto (2011, p. 19) dice: “que se minimice el efecto de las fallas afectando al menor número de componentes. En principio, una protección debe aislar primero a la componente más cercana a la falla, y en ese orden, hasta la más distante, esto implica cierta coordinación en el orden de intervención de la protección”.

Un esquema de protecciones consta de los siguientes elementos:

**FIGURA 11 ELEMENTOS DE UN ESQUEMA DE PROTECCION**



**Fuente:** “Elementos de Protección de Sistemas Eléctricos”, ENRÍQUEZ Gilberto.

### ***1.3.5 Protección por relevadores de líneas de 69 kV***

Para la protección primaria de líneas radiales de distribución de 69 kV, como mínimo se recomienda la utilización de protección de sobrecorriente de fase con elemento instantáneo (50F) y el elemento de tiempo inverso (51F), a continuación se describe de la nomenclatura de los relevadores utilizados para la protección.

#### ***1.3.5.1 Relé instantáneo de sobreintensidad (50)***

Es el que funciona instantáneamente con un valor excesivo de velocidad de aumento de intensidad.

#### ***1.3.5.2 Relé de sobreintensidad temporizado (51)***

Es un relé con una característica de tiempo inverso o de tiempo fijo que funciona cuando la intensidad de un circuito de corriente alterna sobrepasa un valor dado.

ENRIQUEZ, Gilberto (2011, p. 13) dice: “Los relevadores pueden operar: (1) en forma instantánea, (2) con algún retraso de tiempo definido, (3) con un retraso de tiempo que varía con las magnitud de las cantidades a las cuales el elemento de protección responde.”

## 1.4 Fallas simétricas y asimétricas

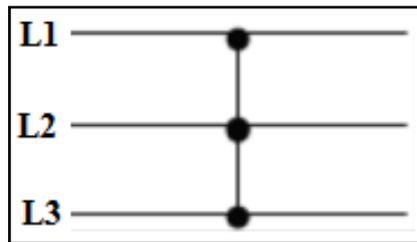
Una falla en un circuito o sistema eléctrico es cualquier evento imprevisto que interfiere con el flujo normal de corriente, y estas pueden ser:

- ✓ Fallas simétricas.
- ✓ Fallas asimétricas.

### 1.4.1 Fallas simétricas

En la figura 12 se indican las fallas simétricas que involucran las tres fases y pueden ser con o sin contacto a tierra, el potencial en el punto de falla es cero y los tres conductores están simétricamente cargados por corrientes equilibradas.

**FIGURA 12 FALLA SIMETRICA**

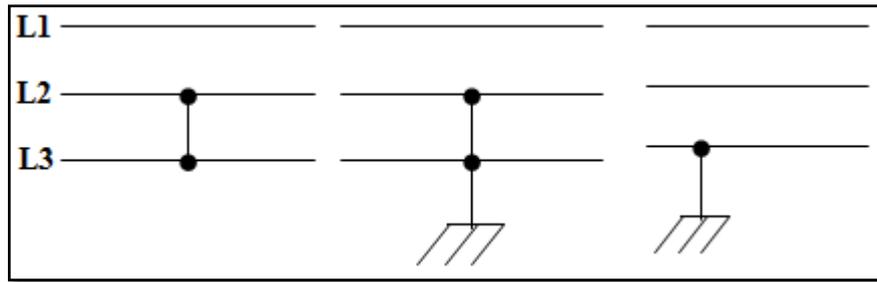


**Fuente:** Falla Simétrica L-L-L.  
**Elaborado por:** Investigadores.

### 1.4.2 Fallas asimétricas

Las fallas asimétricas involucran una o dos fases y llevan al sistema a un nuevo punto de operación con corrientes elevadas pero con un sistema desbalanceado y estas fallas son: bifásicas, bifásicas a tierra y monofásicas como se muestra en la figura 13.

**FIGURA 13 FALLAS ASIMÉTRICAS**



**Fuente:** Fallas Asimétricas.  
**Elaborado por:** Investigadores.

GRAINGER, John (1996, p. 358) dice: “La experiencia ha mostrado que entre 70 y 80 % de las fallas en líneas de transmisión son *fallas monofásicas a tierra* (o línea a tierra), que se originan en el flameo de una línea a la torre y a tierra. Aproximadamente en 5 % de las fallas intervienen las tres fases.”

### **1.5 Criterios para el dimensionamiento de un disyuntor de potencia**

Para determinar las características eléctricas que debe poseer un disyuntor de potencia para su correcta operación en un determinado sistema eléctrico, la norma IEEE Std. C37.04-1999 “**IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers**” generaliza las normas asociadas como también enumera y precisa conceptos a ser tomados en cuenta para cálculos de los parámetros eléctricos, los cuales se reflejan en tablas de valores estandarizados del elemento a dimensionar.

Las normas internacionales recomiendan que como mínimo se deben especificar las siguientes características nominales de un interruptor:

- ✓ Voltaje nominal y de diseño.
- ✓ Corriente nominal.

- ✓ Frecuencia nominal.
- ✓ Capacidades de interrupción simétrica y asimétrica.
- ✓ Capacidad de cierre en cortocircuito.
- ✓ Ciclo de operación nominal
- ✓ Voltaje transitorio de restablecimiento (TRV).
- ✓ Nivel Básico de Aislamiento.

### ***1.5.1 Voltaje nominal***

Es la magnitud de voltaje en condiciones normales de operación del interruptor de un determinado sistema eléctrico de potencia.

### ***1.5.2 Voltaje de diseño***

ENRIQUEZ, Gilberto (2002, p. 240) dice: “El voltaje máximo de diseño de un interruptor es el máximo valor de voltaje para el cual el interruptor está diseñado y se representa el límite superior de voltaje al cual el interruptor pueda operar”.

En la tabla 2 se describe los valores de voltaje de diseño para los diferentes niveles de voltaje.

**TABLA 2 VOLTAJES NOMINALES Y MAXIMOS DE DISEÑO**

<b>VOLTAJE NOMINAL (kV)</b>	<b>VOLTAJE MAXIMO DE DISEÑO (kV)</b>
2.2	2.2
4.16	4.16
13.18	15.0
23.0	24.6
34.4	38.8
69.0	72.5
115.0	123.0
230.0	245.0
400	420.0

**Fuente:** “Fundamentos de Protección de Sistemas Eléctricos por Relevadores”, ENRÍQUEZ Gilberto.

### 1.5.3 Corriente nominal

ENRIQUEZ, Gilberto (2002, p. 241) dice: “La corriente nominal de un interruptor es el valor eficaz de la corriente expresada en amperes, para el cual está diseñado y que debe ser capaz de conducir continuamente sin exceder los límites recomendables de la elevación de temperatura”.

A continuación se presenta en la tabla 3 los valores de las temperaturas dadas en las partes de los interruptores, cuando se realizan pruebas para verificar su capacidad de conducción de corriente nominal.

**TABLA 3 EVALUACION MAXIMA DE TEMPERATURA PARA LAS DIFERENTES PARTES DE UN INTERRUPTOR**

Partes o Componentes	Límites de elevación de temperatura en °C	
	Interr. en aceite	Int. que no usa aceite
a.- Contactores en aire	30	35
b.- Contactores en aceite	30	--
c.- Aceite	30	--
d.- Bobinas de potencial con aislamiento tipo O	35	35
e.- Bobinas en serie con aislamiento clase O	50	50
f.- Bobinas en serie y de potencial con aislamiento clase A	50	50
g.- Bobinas en serie y de potencial con aislamiento clase B	70	70
h.- todas las otras partes del interruptor	70	70

**Fuente:** “Fundamentos de Protección de Sistemas Eléctricos por Relevadores”, ENRÍQUEZ Gilberto.

La clase O.- Tipo sintético.

La clase A.- Papeles en aceite.

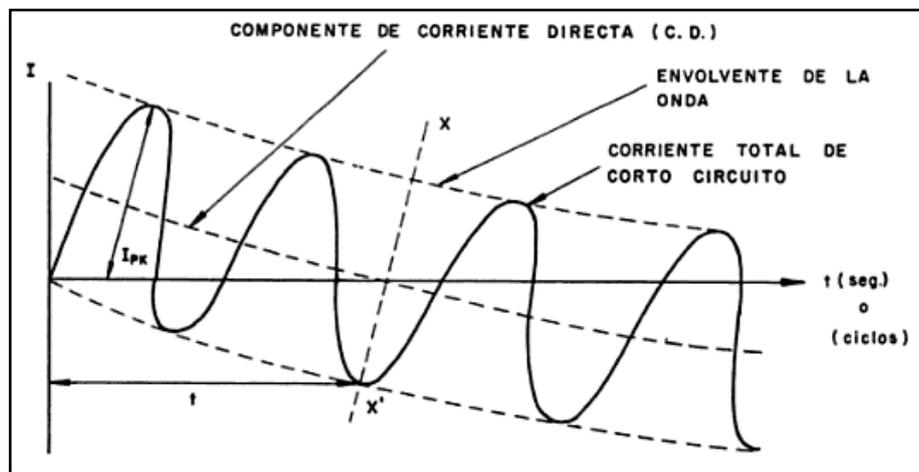
Los valores expresados en el cuadro de valores anterior corresponden a interruptores de operación exterior (intemperie).

### 1.5.4 Frecuencia nominal

La frecuencia de la potencia nominal de un interruptor de circuito es la frecuencia a la que está diseñado para funcionar. Las frecuencias estándar son 50 y 60 Hz, como establece la norma IEEE Std C37.04 1999.

### 1.5.5 Capacidad de interrupción simétrica y asimétrica

**FIGURA 14 COMPONENTE DE UNA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO**



**Fuente:** “Fundamentos de Protección de Sistemas Eléctricos por Relevadores”, ENRÍQUEZ Gilberto.

#### 1.5.5.1 Capacidad de interrupción simétrica

La capacidad de interrupción simétrica requerido de un interruptor de circuito es el valor de la componente simétrica de la corriente de cortocircuito en amperios rms (valor eficaz de corriente), en el instante de la separación del contacto de arco que el disyuntor de circuito se requiere para interrumpir un voltaje de funcionamiento especificado, en el ciclo de trabajo de funcionamiento estándar, como precisa la Norma IEEE Std C37. 04-1999.

### ***1.5.5.2 Capacidad de interrupción asimétrica***

ENRIQUEZ, Gilberto (2002, p. 244) dice: “La corriente asimétrica es el valor eficaz del valor total de la corriente que comprende las componentes C.A. y C.D. en un polo en el instante de la separación de los contactos”, como se ilustra en la figura 14.

### ***1.5.6 Capacidad de cierre en corto circuito***

Es aquel parámetro que define la capacidad de interruptor para cerrar sus contactos en condiciones de corto circuito en el sistema.

#### ***1.5.6.1 Corrientes de cierre***

ENRIQUEZ, Gilberto (2002, p. 245) dice: “La corriente de cierre de un interruptor cuando cierra un corto circuito es el valor eficaz de la corriente total (incluyendo los componentes de C.A y C.D) y se miden de la envolvente de la onda de corriente en su primer valor cresta, en la figura 14 este valor es  $I_{pk}$ .”

La corriente de cierre de un interruptor es aquella que corresponde a esta maniobra al voltaje nominal del mismo, la ausencia de este valor en la placa de características del interruptor implica que se debe calcular de acuerdo con la siguiente expresión:

**Making current** = Corriente de cierre sobre cortocircuito

$$\mathbf{Making\ current} = 1.8 \sqrt{2} I_{sim}$$

$$\mathbf{Making\ current} = 2.54 I_{sim}$$

Dónde:

$I_{sim}$  = Corriente de interrupción simétrica.

### **1.5.7 Ciclo de operación nominal**

ENRIQUEZ, Gilberto (2002, p. 246) dice: “el ciclo de operación de un interruptor consiste de un número de operaciones especificadas: con intervalos de tiempo dados. De acuerdo con las recomendaciones de las normas de la IEC el ciclo de operación de un interruptor que no está especificado para autorrecierre se puede expresar como sigue”:

Como precisa la Norma IEEE Std C37.04-1999 El deber de operación estándar de un interruptor automático es:

O – t – CO – t’ – CO

Dónde:

O = Abierto;

CO = Primer abierto;

t’ = 3 min;

t = 15 s para interruptores sin clasificar para volver a cerrar rápida

= 0,3 s para interruptores calificados para el servicio de reconexión rápida.

### **1.5.8 Voltaje transitorio de restablecimiento (TRV)**

Para los interruptores de calificación inferior a 100 kV, la clasificación TRV está representada por una onda de coseno-1. La magnitud de esta onda, E<sub>2</sub>, para interrumpir la corriente de cortocircuito nominal, como precisa la Norma IEEE Std C37.04-1999 es igual a:

$$E_2 = k_a * k_f * \frac{\sqrt{2}}{3} * V$$

Dónde:

$k_a$  = factor de amplitud transitoria = 1,54;

$k_f$  = primer polo a claro factor de = 1,5;

V = Tensión máxima nominal.

Dado que los sistemas por debajo de 100 kV, se puede operar sin conexión a tierra.

Por lo tanto,

$$E_2 = 1.88 * V$$

### ***1.5.9 Nivel Básico de Aislamiento (BIL)***

El nivel básico de aislamiento o BIL (Basic Impulse Level) es el valor de cresta de la onda de sobrevoltaje por rayo (impulso de rayo normalizado) que como máximo puede soportar un aislante sin que se produzca una descarga disruptiva a través de un aislante. Según la Norma IEC 71-1 La coordinación de aislamiento comprende la selección de la soportabilidad o resistencia dieléctrica de un equipo y su aplicación, en relación con los voltajes que pueden aparecer en el sistema para el cual el equipo está diseñado.

#### ***1.5.9.1 Impulso de rayo normalizado***

Es una forma de onda de referencia que está en función al tiempo que alcanza el valor máximo (tiempo de frente) y al tiempo en el que alcanza el valor medio (tiempo de cola). Según la Norma Americana es de 1.5/40  $\mu$ s, mientras que la Norma Europea 1.2/50  $\mu$ s.

**TABLA 4 NIVELES DE AISLAMIENTO NORMALIZADOS**

<b>Clase de Aislamiento (Voltaje máximo)</b>	<b>BIL kV (kV pico)</b>	<b>Prueba a Frecuencia Industrial (kV eficaces)</b>
3.6	20-40	10
7.2	40-60	20
12	60-75-95	28
17.5	75-95	38
24	95-125-145	50
36	145-170	70
52	250	95
72.5	325	140
100	380-450	150-185
123	450-550	185-230
145	450-550-650	185-230-275
170	550-650-750	230-275-325
245	655-750-850-950-1050	275-325-360-395-460

**Fuente:** IEC 60071-2. Insulation Co-ordination Part 2.

**Elaborado por:** Investigadores.

Para determinar el BIL de los equipos eléctricos que serán implementados en lugares que superan los 1000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) se utiliza un factor de corrección atmosférico  $K_a$ , que viene dado por la siguiente expresión según la Norma; IEC 60071-2 (1996)

$$k_a = e^{m(H-1000)/8150}$$

$k_a$ = Factor de corrección atmosférico.

$m$ = Depende de varios parámetros, para diseño se considera 1.

$H$ : Altura en metros.

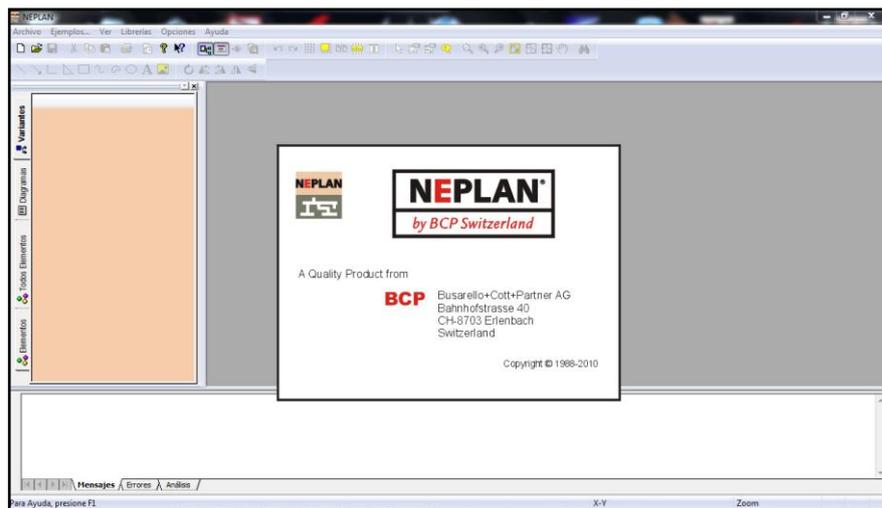
## 1.6 Software NEPLAN VERSION 5.24

### 1.6.1 Descripción del sistema de Planeamiento NEPLAN

NEPLAN versión 5.24 es un paquete de software para el análisis, planeamiento y optimización de sistemas eléctricos de potencia y fue desarrollado por Busarello + Cott + Partner Inc., de Erlenbach (Suiza). Está disponible para diferentes sistemas operativos gráficos (Windows 95/98, Windows NT y Windows 2000) y hay versiones en diferentes idiomas.

La entrada de datos de cada elemento es sencilla de realizar. Solo hay que seguir fáciles pasos que difieren en poco o nada para distintos elementos, el armado de una red se realiza en forma completamente gráfica, facilitando la interpretación del trabajo que se está realizando, el usar diferentes colores para elementos sometidos a distintos niveles de voltaje, refuerza aún más la condición anterior.

**FIGURA 15 VENTANA PRINCIPAL SOFTWARE NEPLAN 5.24**



**Fuente:** Software NEPLAN versión 5.24  
**Elaborado por:** Investigadores.

La versión Windows de NEPLAN 5.24 es orientada a objetos, completamente gráfica y permite trabajar directamente sobre el diagrama unifilar, es una poderosa suite de programas de análisis de sistemas representada en Europa por ABB y en América por Gers. Utiliza los dos métodos de solución IEC y ANSI/IEEE, el sistema es amigable para el usuario y consta de una serie de módulos independientes, como flujo de carga, cortocircuito, análisis dinámico etc.

Dentro del análisis de flujo de carga de un determinado sistema eléctrico de potencia independientemente del nivel de voltaje el software NEPLAN versión 5.24 nos permite obtener parámetros eléctricos como: cargabilidad de líneas, corriente nominal, pérdidas de potencia, ángulo de la corriente, voltajes de nodo, etc.

El módulo de cortocircuitos a utilizar, permite obtener los resultados de la corriente de cortocircuito inicial  $I_k''$  en fallas trifásicas, bifásicas y monofásicas en el diagrama unifilar de la red proyectada, además de presentar la corriente de cortocircuito inicial  $I_k''$  se puede visualizar los resultados de: la potencia de cortocircuito inicial  $S_{cc}''$ , corriente pico  $i_p$ , corriente de interrupción asimétrica  $I_b$ , corriente de estado estable  $I_k$ , componente de DC de la corriente de cortocircuito  $i_{DC}$  y la corriente de interrupción asimétrica  $I_{asi}$ .

## **CAPITULO II**

### **2 PRESENTACION, INTERPRETACION Y ANALISIS DE RESULTADOS**

#### **2.1 Aspectos generales de la Empresa Holcim Ecuador S.A. Planta Latacunga**

##### ***2.1.1 Antecedentes***

El proyecto que da origen para la creación como Planta-Latacunga vincula su inicio en los predios de la Planta de procesamiento de piedra pómez POMEZTEC en el año de 1996, dando comienzo con la adecuación de la infraestructura para la implementación de la Planta de molienda de cemento a partir de la reconfiguración topográfica de la cantera ubicada en el barrio San Rafael vía San Juan, cantón Latacunga, provincia Cotopaxi. Alrededor del año 2000 el 70% de la Planta de procesamiento ha sido montada y en el año 2001 se realiza el montaje del recurso eléctrico, en el transcurso de los años 2001-2004 se finaliza el proceso de implementación y formación de ROCACEM a Holcim-Planta Latacunga.

## **2.2 Interpretación y análisis de resultados**

En el desarrollo del segundo capítulo se efectúa la investigación de campo que utiliza la encuesta como instrumento de recolección de datos en tiempo real, instrumento el cual fue elaborado con el criterio técnico y metodológico en cada ítem para relacionar las fortalezas y debilidades de la subestación de arranque del sistema eléctrico Holcim llevando a la investigación a un nivel explicativo y determinar la verificación de la hipótesis planteada.

A continuación se presenta, interpreta, tabula, grafica y analiza la encuesta realizada al personal involucrado con la subestación seccionadora de arranque de la Empresa Holcim S.A.- Planta Latacunga, dentro de las interrogantes se requiere o se solicitó saber cuál es la situación actual de dicha subestación seccionadora de arranque de la Planta, la encuesta formulada consta de diez interrogantes específicamente dirigidas a la maniobrabilidad y operación de la misma.

Los participantes en la aplicación de la encuesta son: grandes consumidores de energía eléctrica, subestaciones y departamento de planificación de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., los encuestados de antes mencionada institución son 5 como también el instrumento de investigación está dirigida al personal técnico, operadores y coordinador del dpto. Eléctrico de la Empresa Holcim Ecuador S.A. Planta Latacunga, los partícipes son 5 los cuales tienen conocimiento en el área eléctrica y en el estado que se encuentra la subestación.

**1      ¿Conoce usted la situación actual de operación de la subestación de arranque de la Empresa Holcim?**

**TABLA 5 VALORACION DE PREGUNTA 1**

<b>PREGUNTA 1</b>		
<b>OPCIONES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
SI	10	100
NO	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

**FIGURA 16 PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 1**



**Fuente:** Encuesta a Empresas HOLCIM y ELEPCO.  
**Elaborado por:** Investigadores.

***Interpretación y Análisis:***

El 100% de los encuestados afirman conocer la situación actual de la subestación de arranque de la Empresa Holcim donde se realiza el presente estudio, pues la respuesta es favorable ya que de esta manera se tiene la totalidad de conocimiento de las fortalezas y debilidades técnicas de operación que presenta dicha subestación en la actualidad, resultado que se tabuló en la tabla 5.

2 ¿Cree usted que la subestación de arranque de la Empresa Holcim, en la actualidad está en la capacidad de interrumpir el flujo de energía en condiciones normales o anormales del sistema eléctrico?

**TABLA 6 VALORACION DE PREGUNTA 2**

<b>PREGUNTA 2</b>		
<b>OPCIONES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
SI	0	0
NO	10	100
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

**FIGURA 17 PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 2**



**Fuente:** Encuesta a Empresas HOLCIM y ELEPCO.  
**Elaborado por:** Investigadores.

***Interpretación y Análisis:***

El 100% de los encuestados al conocer la situación actual de la subestación de arranque, determinan que dicha subestación no está en la capacidad de interrumpir el flujo de energía en condiciones normales o anormales del sistema eléctrico, por la certeza del resultado se puede concluir que la subestación no se encuentra implementada en su totalidad con elementos de interrupción de flujo de energía necesarios para su operación, resultado que se tabuló en la tabla 6.

**3 ¿Conoce usted las maniobras de operación de dicha subestación para la apertura o cierre de la línea de subtransmisión de 69 kV?**

**TABLA 7 VALORACION DE PREGUNTA 3**

PREGUNTA 3		
OPCIONES	CANTIDAD	%
SI	9	90
NO	1	10
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

**FIGURA 18 PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 3**



**Fuente:** Encuesta a Empresas HOLCIM y ELEPCO.  
**Elaborado por:** Investigadores.

***Interpretación y Análisis:***

El 90% de los encuestados conoce las maniobras de operación y un mínimo porcentaje del 10% no conoce las maniobras de operación de dicha subestación, respuesta que se tabuló en la tabla 7, pues predomina el 90% debido a que la mayor parte de encuestados pertenecen al personal eléctricos de la Empresa Holcim, que continuamente están involucrados con maniobras de operación del sistema eléctrico de la Empresa.

**4 ¿Sabe usted de algún incidente o accidente suscitado por maniobra o falla eléctrica en las instalaciones de la subestación de arranque de la Empresa en años anteriores?**

**TABLA 8 VALORACION DE PREGUNTA 4**

<b>PREGUNTA 4</b>		
<b>OPCIONES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
SI	6	60
NO	4	40
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

**FIGURA 19 PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 4**



**Fuente:** Encuesta a Empresas HOLCIM y ELEPCO.  
**Elaborado por:** Investigadores.

***Interpretación y Análisis:***

El 60% de encuestados afirman conocer de algún incidente o accidente debido a que la totalidad de este porcentaje pertenece al personal eléctrico de la Empresa Holcim, mientras que el 40% no conocen de algún incidente o accidente suscitado por maniobra o falla eléctrica debido a que pertenecen a la Empresa distribuidora de energía eléctrica ELEPCO, resultados que se tabularon en la tabla 8.

5 ¿Cree usted que en la situación actual, una contingencia eléctrica en la red de 69 kV de la Empresa Holcim, afectaría al sistema eléctrico de potencia administrada por la distribuidora ELEPCO S.A.?

**TABLA 9 VALORACION DE PREGUNTA 5**

<b>PREGUNTA 5</b>		
<b>OPCIONES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
SI	10	100
NO	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

**FIGURA 20 PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 5**



**Fuente:** Encuesta a Empresas HOLCIM y ELEPCO.  
**Elaborado por:** Investigadores.

***Interpretación y Análisis:***

El 100% de encuestados concuerdan que una contingencia eléctrica en la red de la Empresa Holcim, afectaría al sistema eléctrico de potencia administrada por la distribuidora ELEPCO, debido a que la subestación de arranque de la Empresa Holcim no está en la capacidad de interrumpir el flujo de energía en condiciones normales o anormales del sistema, en la situación actual por falla provocaría la salida de servicio de la línea 69 kV administrada por la distribuidora ELEPCO, respuesta que se tabuló en la tabla 9.

6 ¿Considera usted que la subestación seccionadora de la Empresa tiene los elementos necesarios para operar el sistema eléctrico de potencia?

**TABLA 10 VALORACION DE PREGUNTA 6**

<b>PREGUNTA 6</b>		
<b>OPCIONES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
SI	0	0
NO	10	100
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

**FIGURA 21 PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 6**



**Fuente:** Encuesta a Empresas HOLCIM y ELEPCO.  
**Elaborado por:** Investigadores.

***Interpretación y Análisis:***

El 100% de encuestados coinciden en que la subestación seccionadora de la Empresa Holcim no tiene los elementos necesarios para operar el Sistema Eléctrico de Potencia respuesta que se tabuló en la tabla 10, puesto que en una subestación seccionadora el principal elemento es el disyuntor de potencia que está encargado de la operación de apertura o cierre bajo cualquier circunstancia de un sistema eléctrico, elemento el cual carece la subestación seccionadora de la Empresa Holcim, pues en la actualidad solo cuentan con seccionadores (operan sin flujo de corriente).

7.- ¿Cree usted que la subestación seccionadora de arranque de la Empresa necesita un disyuntor de potencia?

**TABLA 11 VALORACION DE PREGUNTA 7**

<b>PREGUNTA 7</b>		
<b>OPCIONES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
SI	10	100
NO	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

**FIGURA 22 PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 7**



**Fuente:** Encuesta a Empresas HOLCIM y ELEPCO.

**Elaborado por:** Investigadores.

***Interpretación y Análisis:***

El 100% de los encuestados afirman que es necesario un disyuntor de potencia en la subestación de arranque de la Empresa Holcim, el resultado de la pregunta # 7 es contundente, ya que la subestación necesita complementar sus instalaciones con un disyuntor de potencia para poder interrumpir el flujo de corriente ya sea en condiciones normales o anormales y mejorar los procesos de maniobra en dicha subestación, además con esto lograr evitar incidentes o accidentes, es decir, evitar una fatalidad hombre-máquina, respuesta que se tabuló en la tabla 11.

8 ¿Cree usted que el estudio para el dimensionamiento de un disyuntor de potencia facilitaría escoger o determinar el equipo adecuado para operar bajo los parámetros requeridos de la subestación?

**TABLA 12 VALORACION DE PREGUNTA 8**

<b>PREGUNTA 8</b>		
<b>OPCIONES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
SI	10	100
NO	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

**FIGURA 23 PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 8**



**Fuente:** Encuesta a Empresas HOLCIM y ELEPCO.  
**Elaborado por:** Investigadores.

***Interpretación y Análisis:***

El 100% de los encuestados determinan que el estudio y dimensionamiento de un disyuntor de potencia si contribuirá a la selección de un equipo de interrupción adecuado (disyuntor), pues con el estudio y dimensionamiento se establecerá los parámetros eléctricos necesarios del disyuntor que formará parte de las operaciones del sistema eléctrico que pertenece a la Empresa Holcim, respuesta que se tabuló en la tabla 12.

**9 Establecido el dimensionamiento del disyuntor de potencia. ¿Considera usted que su implementación en la subestación de arranque de la Empresa mejorará las maniobras de operación del sistema eléctrico?**

**TABLA 13 VALORACION DE PREGUNTA 9**

<b>PREGUNTA 9</b>		
<b>OPCIONES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
SI	10	100
NO	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

**FIGURA 24 PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 9**



**Fuente:** Encuesta a Empresas HOLCIM y ELEPCO.  
**Elaborado por:** Investigadores.

***Interpretación y Análisis:***

El 100% de los encuestados coinciden en que después de un estudio previo, la implementación de un disyuntor de potencia si ayudaría a mejorar las operaciones en dicha subestación, pues con la implementación del disyuntor la subestación seccionadora actuará en eventos desfavorables y los procesos de maniobra serán más confiables y seguros, respuesta que se tabuló en la tabla 13.

**10** Con el mejoramiento de los procesos de operación de la subestación de arranque de la Empresa. ¿Cuáles cree usted que serían las partes beneficiarias?

**TABLA 14 VALORACION DE PREGUNTA 10**

<b>PREGUNTA 10</b>		
<b>OPCIONES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
HOLCIM S.A.	0	0
ELEPCO S.A.	0	0
COMUNIDAD	0	0
<b>TODOS</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

**FIGURA 25 PORCENTAJE DE LA PREGUNTA 10**



**Fuente:** Encuesta a Empresas HOLCIM y ELEPCO.  
**Elaborado por:** Investigadores.

***Interpretación y Análisis:***

Con el resultado arrojado de la pregunta # 10 que se tabuló en la tabla 14 los encuestados afirman que todas las partes tendrán un beneficio equitativo, puesto que en caso de producirse una falla se podrá controlar y despejar a través del interruptor, evitando daños a HOLCIM S.A., ELEPCO S.A., y por ende evitar accidentes o molestias a la comunidad que se beneficia de la red de suministro de energía.

### 2.3 Tabla general de encuesta realizada al personal de ELEPCO S.A., y Holcim Ecuador S.A. Planta Latacunga

Del análisis e interpretación de resultados obtenidos en cada una de las preguntas, se establece la tabla 15 de datos en general de la encuesta realizada.

**TABLA 15 DATOS DE LA ENCUESTA EN FRECUENCIA Y PORCENTAJE**

N°	FRECUENCIA				PORCENTAJE			
	SI	NO	TODOS	TOTAL	SI	NO	TODOS	TOTAL
<b>Pregunta 1</b>	10	0	0	10	100%	0%	0%	100%
<b>Pregunta 2</b>	0	10	0	10	0%	100%	0%	100%
<b>Pregunta 3</b>	9	1	0	10	90%	10%	0%	100%
<b>Pregunta 4</b>	6	4	0	10	60%	40%	0%	100%
<b>Pregunta 5</b>	10	0	0	10	100%	0%	0%	100%
<b>Pregunta 6</b>	0	10	0	10	0%	100%	0%	100%
<b>Pregunta 7</b>	10	0	0	10	100%	0%	0%	100%
<b>Pregunta 8</b>	10	0	0	10	100%	0%	0%	100%
<b>Pregunta 9</b>	10	0	0	10	100%	0%	0%	100%
<b>Pregunta10</b>	0	0	10	10	0%	0%	100%	100%

**Fuente:** Encuesta a Empresas HOLCIM S.A. y ELEPCO S.A.

**Elaborado por:** Investigadores.

De la tabla 15 se asimila que el ítem cuatro el personal de la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi desconoce de un incidente suscitado en la Empresa Holcim y con un porcentaje mayor o igual al 90% del resto de ítems que afirman conocer la realidad de operación y maniobra de la subestación seccionadora de arranque de la Empresa Holcim S.A.-Planta Latacunga.

## 2.4 Verificación de la Hipótesis

Después de haber aplicado los cuestionarios de opinión, se realizó la tabulación de las interrogantes las cuales arrojan un gran porcentaje de interés e importancia que posee el estudio del proyecto para las soluciones de complementación de la subestación de arranque de la Empresa Holcim, teniendo un resultado contundente de aceptación en los ítem 8 y 9 de los cuales se justifica el proyecto y consecuentemente la verificación de la hipótesis como se presenta en la tabla 16.

### 2.4.1 Hipótesis

¿El estudio y dimensionamiento del disyuntor de potencia de 69 kV, servirá para la implementación y mejora de la subestación de arranque de la Planta?

**TABLA 16 COMPROBACION DE LA HIPOTESIS**

Preguntas		Favorables		Desfavorables	
		Fr	Fr%	Fr	Fr%
<b>8</b>	¿Cree usted que el estudio para el dimensionamiento de un disyuntor de potencia facilitaría escoger o determinar el equipo adecuado para operar bajo los parámetros requeridos de la subestación?	10	100	0	0
<b>9</b>	Establecido el dimensionamiento del disyuntor de potencia. ¿Considera usted que su implementación en la subestación de arranque de la Empresa mejorará las maniobras de operación del sistema eléctrico?	10	100	0	0

**Fuente:** Encuesta a Empresas HOLCIM y ELEPCO.

**Elaborado por:** Investigadores.

En la tabla 16 se observa que la totalidad de los partícipes de la encuesta aplicada tienen respuestas afirmativas a la necesidad de realizar un estudio de dimensionamiento del disyuntor de potencia para la subestación de arranque de la Planta, ya que el resultado de los encuestados es contundente y define el 100% de aceptación por lo tanto: El estudio y dimensionamiento del disyuntor de potencia de 69 kV, sirve para la implementación y mejora de la subestación de arranque de la Planta.

## 2.5 Determinación de parámetros eléctricos para el dimensionamiento del disyuntor de potencia

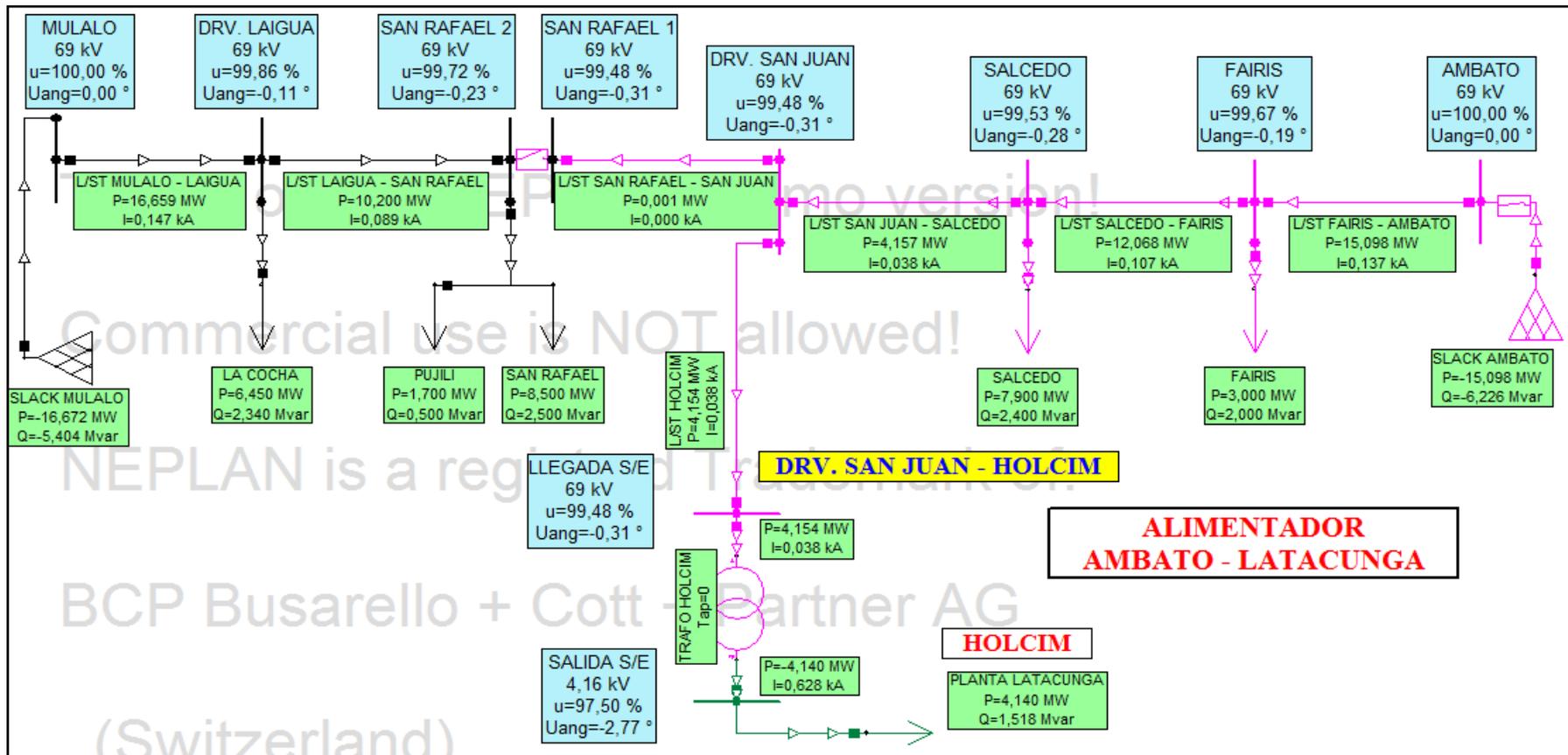
A continuación se presenta los cuadros de resultados de las respectivas simulaciones de corrida de flujo y cortocircuito mediante la utilización del Software NEPLAN versión 5.24, a partir de los datos técnicos obtenidos de entidades eléctricas como: ELEPCO S.A., TRANELECTRIC, CENACE y datos técnicos de la Empresa Holcim-Planta Latacunga, dicha simulación se realiza para los siguientes escenarios: AMBATO-HOLCIM y la interconexión MULALO-HOLCIM cuyos casos se analizan por separado.

Dentro de la simulación de flujo de carga detallamos los parámetros de la corriente que circula por el circuito, definido en la tabla 17 y 18 por la corriente de flujo de carga **I (kA)**, la cargabilidad de cada una de las líneas de la topología de la red del sistema eléctrico de potencia que se define como **Cgb. (%)**, las pérdidas de potencia activa y las pérdidas de potencia reactiva que respectivamente se define como **Pérd. MW** y **Pérd. Mvar**, se realizó el respectivo análisis en el sistema eléctrico de potencia Holcim tomando en cuenta como referencia la subestación de seccionadora de arranque de la Planta donde se realizó el presente estudio.

Dentro del análisis de corriente de cortocorcuito detallamos los valores obtenidos en la simulación en cada uno de los nodos de 69 kV de la red, parámetros entre los cuales podemos destacar: la corriente de cortocircuito inicial **Ik'' (kA)**, se puede visualizar los resultados de la potencia de cortocircuito inicial **Scc'' (MVA)**, corriente pico **ip (kA)**, corriente de interrupción asimétrica **Ib (kA)** y la corriente de interrupción asimétrica **Iasi (kA)** como se especifican en las tablas 19 y 20.

2.5.1 Simulación de corrida de flujos de potencia Ambato-San Rafael

FIGURA 26 ALIMENTADOR 69 KV AMBATO – LATACUNGA



Fuente: Software NEPLAN versión 5.24.

**TABLA 17 CORRIDA DE FLUJOS AMBATO-HOLCIM**

Nº	Elemento	Tipo	I (kA)	Cgb. (%)	Pérd. MW	Pérd. Mvar
1	Slack Ambato	Equiv.	0.137	-	-	-
2	Fairis - Ambato	Línea	0.137	11.68	0.0304	0.0707
3	Fairis	Carga	0.03	-	-	-
4	Salcedo - Fairis	Línea	0.107	9.16	0.011	0.0246
5	Salcedo	Carga	0.069	-	-	-
6	San Juan - Salcedo	Línea	0.038	3.24	0.0019	0.0027
7	Holcim	Línea	0.038	3.23	0.0003	-0.0001
8	Planta Latacunga	Carga	0.628	-	-	-

**Fuente:** Software NEPLAN versión 5.24.

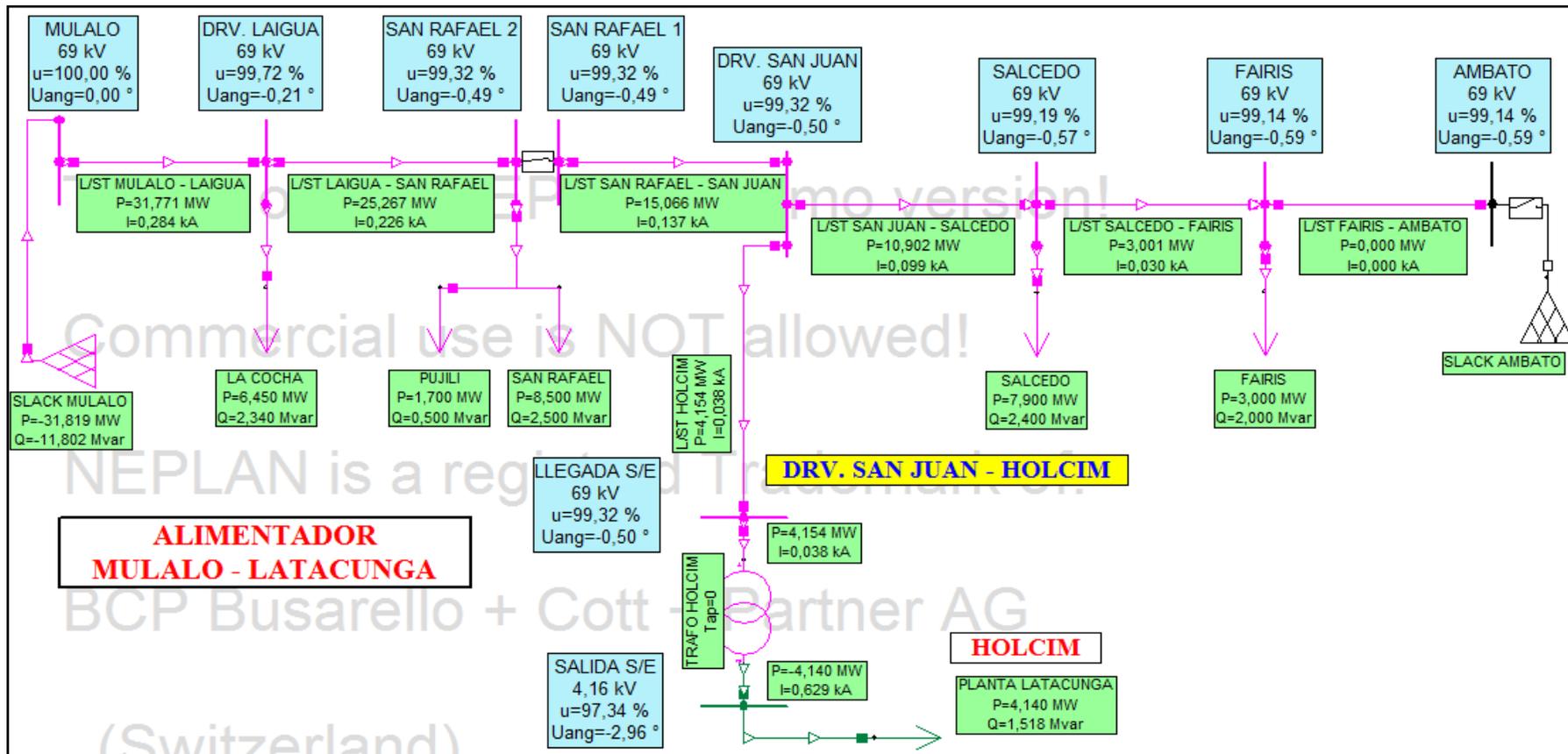
**Elaborado por:** Investigadores.

Como se puede observar en la tabla 17 del alimentador Ambato-Latacunga que suministra de energía eléctrica para las operaciones de la Empresa Holcim, las pérdidas más significativas recaen sobre la línea de subtransmisión de 69 kV Fairis-Ambato la cual tiene una longitud de 13,2 km y fluye una corriente de 0,137 kA, la misma que presenta una pérdida de potencia activa de 0,0304 MW y 0,0707 Mvar de pérdida en potencia reactiva con una cargabilidad de 11,68 % de la misma.

La Empresa Holcim-Planta Latacunga en demanda máxima requiere una corriente de 0,038 kA en referencia del lado de alto voltaje del transformador de potencia de 7,5 MVA y las pérdidas en las líneas de subtransmisión en los dominios de las operaciones Holcim son relativamente pequeñas debido a que la distancia de la línea de 600 metros es muy corta y la corriente que fluye es mínima con respecto a la capacidad de transporte de corriente del conductor.

2.5.2 Simulación de corrida de flujos de potencia Mulaló-Fairis

FIGURA 27 ALIMENTADOR 69 KV MULALO – LATACUNGA



Fuente: Software NEPLAN versión 5.24.

**TABLA 18 CORRIDA DE FLUJOS MULALO-HOLCIM**

<b>N°</b>	<b>Elemento</b>	<b>Tipo</b>	<b>I (kA)</b>	<b>Cgb. (%)</b>	<b>Pérd. MW</b>	<b>Pérd. Mvar</b>
1	Slack Mulaló	Equiv.	0.375	-	-	-
2	Mulaló - Laigua	Línea	0.284	26.66	0.0489	0.1478
3	La Cocha	Carga	0.058	-	-	-
4	Laigua - San Rafael	Línea	0.226	21.26	0.0539	0.1634
5	Pujilí	Carga	0.015	-	-	-
6	San Rafael	Carga	0.075	-	-	-
7	Línea Corta	Línea	0.137	11.72	0	0
8	San Rafael - San Juan	Línea	0.137	11.72	0.0011	0.0005
9	Holcim	Línea	0.038	3.24	0.0003	-0.0001
10	Planta Latacunga	Carga	0.629	-	-	-
11	San Juan - Salcedo	Línea	0.099	8.48	0.0093	0.0202
12	Salcedo	Carga	0.07	-	-	-
13	Salcedo - Fairis	Línea	0.03	2.6	0.0015	0.0017

**Fuente:** Software NEPLAN versión 5.24.

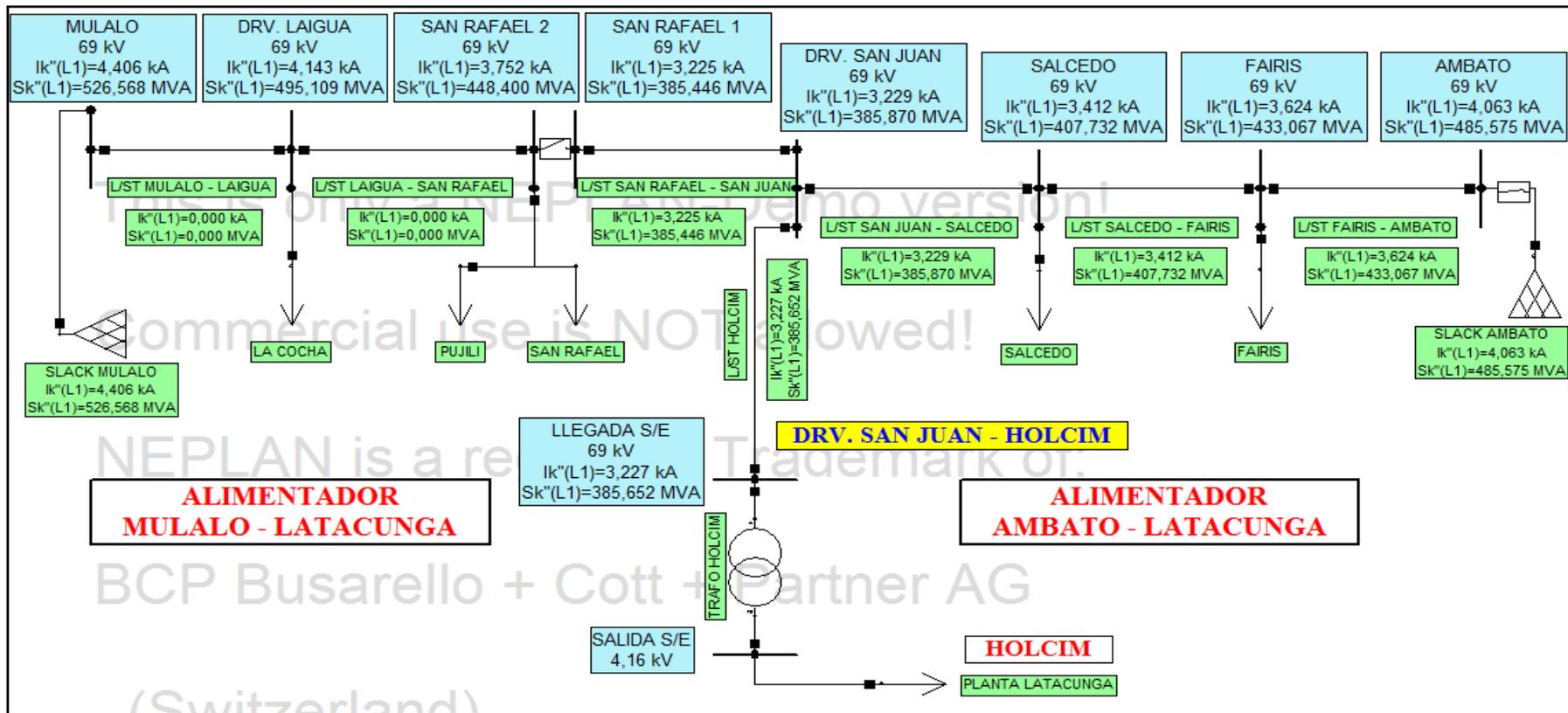
**Elaborado por:** Investigadores.

Los resultados presentados en la tabla 18 son producto de la simulación de flujos de potencia con una transferencia de carga a través de la subestación San Rafael cuya operación sería posible si el alimentador Ambato-Latacunga se encuentra fuera de operación.

Las pérdidas más significativas recaen sobre la línea de subtransmisión de 69 kV Mulaló-Laigua la cual tiene una longitud de 7,9 km y fluye una corriente de 0,284 kA, la misma que presenta una pérdida de potencia activa de 0,0489 MW y 0,1478 Mvar de pérdida en potencia reactiva con una cargabilidad de 26,66 % esto se debe a que el calibre del conductor de aquel tramo de la red es menor al resto de la topología de la red.

2.5.3 Simulación de cortocircuitos 3Ø y 1Ø, mediante el método IEC 60909 del sistema eléctrico Ambato – Latacunga - Mulaló

FIGURA 28 ANALISIS DE CORTOCIRCUITO 3Ø Y 1Ø EN NODOS DE 69 KV



Fuente: Software NEPLAN versión 5.24.

### 2.5.3.1 Simulación de corrientes de cortocircuito trifásica

**TABLA 19 ANALISIS DE C.C. 3Ø DEL SISTEMA ELECTRICO HOLCIM**

<b>Estudio de cortocircuito del alimentador Ambato-Latacunga</b>						
<b>Ubicación de Falla</b>	<b>Ik'' (kA)</b>	<b>ip (kA)</b>	<b>Ib (kA)</b>	<b>Ib asi (kA)</b>	<b>Sc'' MVA</b>	
<b>1</b>	Ambato	4,063	10,455	4,063	5,327	485,575
<b>2</b>	Fairis	3,624	8,894	3,624	4,305	433,067
<b>3</b>	Salcedo	3,412	8,194	3,412	3,912	407,732
<b>4</b>	Drv. San Juan	3,229	7,616	3,229	3,609	385,87
<b>5</b>	Llegada S/E	3,227	7,61	3,227	3,607	385,652
<b>6</b>	San Rafael 1	3,225	7,605	3,225	3,604	385,446
<b>Estudio de cortocircuito del alimentador Mulaló-Latacunga</b>						
<b>Ubicación de Falla</b>	<b>Ik'' (kA)</b>	<b>ip (kA)</b>	<b>Ib (kA)</b>	<b>Ib asi (kA)</b>	<b>Sc'' MVA</b>	
<b>1</b>	<b>Mulaló</b>	<b>4.406</b>	<b>10.629</b>	<b>4.406</b>	<b>5.086</b>	<b>526.568</b>
<b>2</b>	Drv. Laigua	4.143	9.851	4.143	4.682	495.109
<b>3</b>	San Rafael 1	3.752	8.738	3.752	4.13	448.4
<b>4</b>	San Rafael 2	3.752	8.738	3.752	4.13	448.4
<b>5</b>	Drv. San Juan	3.747	8.723	3.747	4.123	447.825
<b>6</b>	Llegada S/E	3.745	8.716	3.745	4.119	447.53
<b>7</b>	Salcedo	3.526	8.069	3.526	3.809	421.423
<b>8</b>	Fairis	3.322	7.486	3.322	3.539	397.057

**Fuente:** Software NEPLAN versión 5.24.

**Elaborado por:** Investigadores.

En la tabla 19 se presenta los resultados de la simulación de cortocircuito de los sistemas eléctricos correspondientes a los alimentadores Ambato-Latacunga y Mulaló-Fairis, análisis de cortocircuito trifásico del sistema eléctrico Holcim que ha determinado la corriente máxima de cortocircuito en el sistema eléctrico que involucra el alimentador Mulaló-Latacunga con un valor de corriente de cortocircuito inicial  $I_{k''}$  de 4,406 kA y un valor pico  $i_p$  de 10,629 kA a un nivel de voltaje de 69 kV, alimentador que admite una transferencia de carga a través de un disyuntor de potencia que se encuentra implementado en la subestación eléctrica San Rafael cuyo destino final de suministro de energía es Fairis y la corriente de cortocircuito trifásica máxima del sistema eléctrico que implica el alimentador Ambato-Latacunga tiene un valor de 3,225 kA.

### 2.5.3.2 Simulación de corrientes de cortocircuito monofásica

**TABLA 20 ANALISIS DE C.C. 1Ø DEL SISTEMA ELECTRICO HOLCIM**

<b>Análisis de cortocircuito del alimentador Ambato-Latacunga</b>						
<b>Ubicación de Falla</b>	<b>Ik'' (kA)</b>	<b>ip (kA)</b>	<b>Ib (kA)</b>	<b>Ib asi (kA)</b>	<b>Sec'' MVA</b>	
<b>1</b>	Ambato	4,637	11,933	4,637	6,08	184,736
<b>2</b>	Fairis	3,741	9,182	3,741	4,445	149,04
<b>3</b>	Salcedo	3,367	8,087	3,367	3,861	134,135
<b>4</b>	Drv. San Juan	3,07	7,241	3,07	3,432	122,298
<b>5</b>	Llegada S/E	3,067	7,233	3,067	3,428	122,184
<b>6</b>	San Rafael 1	3,064	7,225	3,064	3,424	122,077
<b>Análisis de cortocircuito del alimentador Mulaló-Latacunga</b>						
<b>Ubicación de Falla</b>	<b>Ik'' (kA)</b>	<b>ip (kA)</b>	<b>Ib (kA)</b>	<b>Ib asi (kA)</b>	<b>Sec'' MVA</b>	
<b>1</b>	<b>Mulaló</b>	<b>4.932</b>	<b>11.897</b>	<b>4.932</b>	<b>5.693</b>	<b>196.46</b>
<b>2</b>	Drv. Laigua	4.699	11.174	4.699	5.311	187.206
<b>3</b>	San Rafael 1	4.047	9.426	4.047	4.455	161.241
<b>4</b>	San Rafael 2	4.047	9.426	4.047	4.455	161.241
<b>5</b>	Drv. San Juan	4.038	9.4	4.038	4.442	160.856
<b>6</b>	Llegada S/E	4.033	9.387	4.033	4.436	160.66
<b>7</b>	Salcedo	3.616	8.275	3.616	3.907	144.058
<b>8</b>	Fairis	3.262	7.35	3.262	3.475	129.944

**Fuente:** Software NEPLAN versión 5.24.

**Elaborado por:** Investigadores.

En la tabla 20 se presenta los resultados de la simulación de cortocircuito de los sistemas eléctricos correspondientes a los alimentadores Ambato-Latacunga y Mulaló-Fairis, análisis de cortocircuito monofásico del sistema eléctrico Holcim que ha determinado la corriente máxima de cortocircuito en el sistema eléctrico que involucra el alimentador Mulaló-Latacunga con un valor de corriente de cortocircuito inicial  $I_{k''}$  de 4,932 kA y un valor pico  $i_p$  de 11,897 kA a un nivel de voltaje de 69 kV, alimentador que admite una transferencia de carga a través de un disyuntor de potencia que se encuentra implementado en la subestación eléctrica San Rafael cuyo destino final de suministro de energía es Fairis y la corriente de cortocircuito monofásica máxima del sistema eléctrico que implica el alimentador Ambato-Latacunga tiene un valor de 3,064 kA.

## **2.5.4 Parámetros eléctricos necesarios para el dimensionamiento del disyuntor**

### **2.5.4.1 Voltaje nominal**

Es el voltaje que opera el sistema eléctrico en condiciones normales de la red, para este caso la trayectoria Ambato – Latacunga, opera a un voltaje nominal de:

$$V_n = 69 \text{ kV}$$

### **2.5.4.2 Voltaje de diseño**

Es el límite máximo de voltaje al cual el disyuntor puede operar, como se indica en la tabla 2 los voltajes nominales y voltajes máximas de diseño de equipos eléctricos del ejemplar de ENRIQUEZ, Gilberto para 69 kV tenemos:

$$\text{Voltaje de diseño} = 72,5 \text{ kV}$$

### **2.5.4.3 Corriente nominal**

Es el valor de la corriente eficaz para el cual está diseñado el disyuntor y que debe ser capaz de conducir continuamente:

$$S = 9.3 \text{ MVA}$$

**9.3 MVA** es la capacidad de potencia del transformador 3Ø de la Planta.

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3 * V_n * fp}}$$
$$I_n = \frac{9.3 \text{ MVA}}{\sqrt{3 * 69 \text{ kV} * 0,94}}$$
$$I_n = 78 \text{ A}$$

#### **2.5.4.4 Frecuencia nominal**

La frecuencia nominal de la red es:

$$f_n = 60 \text{ Hz}$$

#### **2.5.4.5 Capacidades de interrupción simétrica y asimétrica**

##### **2.5.4.5.1 Capacidad de interrupción simétrica**

El valor de la corriente de interrupción de cortocircuito simétrica se obtiene de los resultados de la simulación del sistema eléctrico Holcim a través del software NEPLAN versión 5.24 parámetros que se encuentran en la tabla 20.

$$I_{sim} = 4,932 \text{ kA}$$

##### **2.5.4.5.2 Capacidad de interrupción asimétrica**

El valor de la corriente de interrupción de cortocircuito asimétrica se obtiene de los resultados de la simulación del sistema eléctrico Holcim a través del software NEPLAN versión 5.24 parámetros que se encuentran en la tabla 20.

$$I_{asim} = 5,693 \text{ kA}$$

#### **2.5.4.6 Capacidad de cierre en cortocircuito**

Como se precisa en el capítulo uno, la fórmula para obtener el valor de la capacidad de cierre en cortocircuito es la siguiente:

$$\text{Making current} = 2,54 * I_{sim}$$

$$\mathbf{Making\ current = 2,54 * 4,932\ kA}$$

$$\mathbf{Making\ current = 12,527\ kA}$$

#### **2.5.4.7 Nivel Básico de Aislamiento**

Para voltajes de 69 kV con un máximo de 72,5 kV, según la norma IEC 60071-2, el BIL se precisa en 325 kV pico y 140 kV eficaces para frecuencia industrial como se menciona en la tabla 4.

$$\mathbf{BIL = 325\ kV}$$

Aplicando el factor de corrección por altitud:

$$\mathbf{k_a = e^{1(3000-1000)/8150}}$$

$$\mathbf{k_a = 1,41}$$

El nivel básico de aislamiento que debe tener el disyuntor a 3000 m.s.n.m. es:

$$\mathbf{BIL = 1,41 * 325\ kV}$$

$$\mathbf{BIL = 458,25\ kV}$$

## **CAPITULO III**

### **3 PROPUESTA**

#### **3.1 Desarrollo de la propuesta**

##### ***3.1.1 Tema:***

Presentación de un disyuntor de potencia de 69 kV con sus respectivas protecciones de sobrecorriente y características eléctricas adecuadas a la realidad de las operaciones de la Empresa Holcim que cumple con las exigencias técnicas y operacionales del sistema, para ser implementado en la subestación de arranque de la Planta ubicada en el sector San Rafael – Latacunga.

#### **3.2 Presentación**

La Empresa Holcim Ecuador S.A.-Planta Latacunga es una industria que aprovecha de manera óptima y eficiente la energía eléctrica en la mayor parte de los procesos de fabricación de cemento. Considerando que dichos mecanismos para la producción de cemento hace uso del recurso eléctrico, indiscutiblemente se debe determinar medidas y elementos adecuados de operación para los diferentes niveles de voltaje.

El contenido analítico se basó específicamente en el estudio y dimensionamiento de un disyuntor de potencia con sus respectivas protecciones de sobrecorriente para el sistema eléctrico de 69 kV de la Empresa antes mencionada, utilizando los parámetros técnicos que dan como resultado de la simulación de cortocircuito del sistema en el software NEPLAN versión 5.24, se aplicó una guía técnica de normas estandarizadas (IEEE) que debe cumplir el equipo eléctrico (disyuntor), las cuales fueron las herramientas primordiales que determinaron el dimensionamiento del disyuntor para el entorno eléctrico de la Empresa Holcim S.A.

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. (ELEPCO S.A), a través del Centro Integrado de Estudios Técnicos (CIETEC), brindó el soporte técnico para los ajustes de los relés de sobrecorriente en el Software CYMTCC módulo de CYMDIST que permite realizar estudios de coordinación de protecciones contra sobrecorrientes en redes industriales, comerciales y de distribución eléctrica, como es el caso de la Empresa Holcim-Planta Latacunga, puesto que dicha Empresa se encuentra dentro del área de concesión de ELEPCO S.A., los ajustes de los relés de sobrecorriente para la subestación de arranque se realizó en el módulo de coordinación de protección de CYMTCC, bajo el consentimiento y la supervisión del Ing. Santiago Medina colaborador de CIETEC de la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi S.A.

### **3.3 Justificación**

El proyecto de tesis brindó a la Empresa en estudio, el dimensionamiento de un disyuntor de potencia con sus respectivas protecciones en la subestación de arranque de la Planta, definiendo los parámetros eléctricos de operación para que sea posible su posterior implementación y de esta manera lograr la mejora de los procesos de utilización del recurso eléctrico, también renovar la seguridad industrial existente en las instalaciones eléctricas de la subestación de arranque, los procedimientos de trabajo serán más confiables, correctos y seguros

optimizando así el ambiente de trabajo y minimizando el riesgo de fatalidades hombre-máquina.

Otra ventaja de suma importancia son los programas de mantenimiento en la trayectoria de 69 kV que serán más continuos y seguros para prolongar la vida útil de los elementos que permiten el flujo de la energía hacia la Planta, además contarán con un plan de procedimientos seguros y efectivos para desenergizar la subestación en caso de un cortocircuito u otros acontecimientos imprevistos, garantizando una mejor administración de la línea de 69 kV que beneficia a la comunidad Holcim, con una amplia perspectiva de mejorar las operaciones hombre-máquina de la Planta.

### **3.4 Objetivo**

#### ***3.4.1 Objetivo General***

- ✓ Proponer un disyuntor de potencia con sus respectivas protecciones de sobrecorriente en la subestación de arranque de la Empresa Holcim Planta Latacunga, mediante el análisis y cálculo de los parámetros eléctricos de operación de la misma, para una futura implementación del equipo eléctrico de interrupción.

### **3.5 Análisis de factibilidad**

#### ***3.5.1 Viabilidad económica***

El estudio económico contempla las gestiones financieras necesarias para determinar el valor de la inversión del proyecto, estima los medios posibles de financiamiento y flujo de fondos previstos permitiendo una planificación del proyecto.

### 3.5.1.1 Inversión

La inversión para el presente proyecto está destinada para la adquisición de **activos fijos, activo diferido y capital de trabajo**, la misma que está conformada por aquellos bienes que van a ser adquiridos por la entidad auspiciante Empresa Holcim-Planta Latacunga, detallados por los rubros correspondientes como se muestra en la tabla 21.

**TABLA 21 INVERSION EN EQUIPOS ELECTRICOS**

<b>Inversión en equipos eléctricos</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Und</b>	<b>Cant</b>	<b>V. Unit</b>	<b>V. Tot</b>
Pararrayos de 69 kV	u	3	2,415	7,245
Interruptor de tanque muerto	u	1	67,300	67,300
Conductores para conexión	Gbl	1	2,500	2,500
Conectores y herramientas para conexión	Gbl	1	5,750	5,750
Cadena de aisladores	u	9	380	3,420
Aisladores tipo estación	u	6	400	2,400
<b>Total</b>				<b>88,615</b>
<b>Inversión en obra civil</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Und</b>	<b>Cant</b>	<b>V. Unit</b>	<b>V. Tot</b>
Base interruptor de poder	u	1	2500	2,500
Cuarto de control	Gbl	1	4500	4,500
Cajas de paso	u	2	425	850
Cajas de control	u	1	522.22	522.22
<b>Total</b>				<b>8,372.22</b>
<b>Inversión de materiales en malla tierra</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Und</b>	<b>Cant</b>	<b>V. Unit</b>	<b>V. Tot</b>
Suministro e instalación de la malla tierra	u	1	2500	2,500
Soldadura exotérmica de malla tierra	u	1	650	650
Aterrizamiento de equipos de patio	u	1	1250	1,250
<b>Total</b>				<b>4,400</b>
<b>Inversión de accesorios en el sistema de control</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Und</b>	<b>Cant</b>	<b>V. Unit</b>	<b>V. Tot</b>
Tablero de control y protección	u	1	14,800	14,800
Banco de baterías	u	1	5,830	5,830
Cargador de baterías	u	1	4,950	4,950
Centro de carga	u	1	550	550

Señales de control	u	1	2,500	2,500
Tuberías para señales de control	u	1	1,500	1,500
<b>Total</b>				<b>30,130</b>

**Fuente:** Investigadores.

**Elaborado por:** Investigadores.

Teniendo un total de activo fijo de 131.517 \$ como se detalla en la tabla 22:

**TABLA 22 INVERSION FIJA**

<b>Resumen de inversión fija</b>	
<b>Concepto</b>	<b>Valor Total</b>
Equipo eléctrico	88.615
Obra civil o infraestructura	8.372
Material en malla tierra	4.400
Accesorios sistemas de control	30.130
<b>Total</b>	<b>131.517</b>

**Fuente:** Investigadores.

**Elaborado por:** Investigadores.

El total de activos fijos correspondiente para el proyecto es de \$ 131.517 de los cuales el 67% corresponde a la inversión en equipo eléctrico, seguido del 23% para el sistema de control y la complementación del 100% en otros rubros.

### ***3.5.1.2 Depreciación***

Todo activo fijo tiene su depreciación que es el desgaste fijo del bien determinados en años y porcentajes, utilizando en este proyecto el método de porcentajes determinado de la siguiente manera en la tabla 23.

**TABLA 23 DEPRECIACION DE ACTIVOS FIJOS**

<b>Cuadro de depreciación anual de los activos fijos</b>				
<b>Activos Fijos</b>	<b>Valor (\$)</b>	<b>Vida útil (años)</b>	<b>Porcentaje anual</b>	<b>Depreciación anual (\$)</b>
Equipo eléctrico	88,615	10	10%	8,862
Obra civil o infraestructura	8,372	20	5%	419
Malla tierra	4,400	10	10%	440
Sistemas de control	30,130	10	10%	3,013
<b>Total</b>				<b>12.733</b>

**Fuente:** Investigadores.

**Elaborado por:** Investigadores.

### *3.5.1.3 Activo Diferido*

Está integrado por valores cuya recuperabilidad está condicionada generalmente por el transcurso del tiempo, teniendo para el proyecto los siguientes rubros que se mencionan en la tabla 24.

**TABLA 24 AMORTIZACION DE ACTIVO DIFERIDO**

<b>Cuadro de amortización activo diferido</b>			
<b>Amortización</b>	<b>(%) Amortización Anual</b>	<b>Amortización anual (\$)</b>	<b>Total</b>
Diseño de malla a tierra	20%	1.050	210
Estudio de factibilidad	20%	1.000	200
<b>Total amortización</b>		<b>2.050</b>	<b>410</b>

**Fuente:** Investigadores.

**Elaborado por:** Investigadores.

### *3.5.1.4 Capital de trabajo*

Es lo líquido para emprender con el proyecto en el caso del presente estudio tenemos la mano de obra que se detalla en la tabla 25.

**TABLA 25 CAPITAL DE TRABAJO**

<b>Detalle de costo de mano de obra</b>			
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Mensual</b>	<b>Anual</b>
Montaje de pararrayos	3	450	1.350
Montaje de interruptor de tanque	1	3.750	3.750
Montaje de conductores para conexión	1	750	750
Montaje de conectores y herrajes	1	1.575	1.575
Montaje de cadena de aisladores	9	125	1.125
Montaje de aisladores tipo estación	6	125	750
<b>Total</b>			<b>9.300</b>

**Fuente:** Investigadores.

**Elaborado por:** Investigadores.

### **3.5.1.5 Inversión total**

La inversión total para el presente proyecto está compuesta por activos fijos, diferidos y capital de trabajo, teniendo los siguientes rubros que se especifican en la tabla 26.

**TABLA 26 INVERSION TOTAL**

<b>Inversión total</b>	<b>Valor</b>
Activo fijo	131.517
Activo diferido	2.050
Capital de trabajo	9.300
<b>Total</b>	<b>142.867</b>

**Fuente:** Investigadores.

**Elaborado por:** Investigadores.

La inversión total del proyecto es de \$ 142.867, comprendida en un 92% en activos fijos, en un 7% en capital de trabajo y tan solo el 1% en activos diferidos.

### ***3.5.2 Viabilidad técnica-operacional***

La investigación comprende el análisis de flujo de potencia, corriente de cortocircuito y coordinación de protecciones a un nivel de voltaje de subtransmisión de 69 kV con la que opera la Planta, por lo que la secuencia de operación de la subestación debe ser la más apropiada.

La secuencia de operación de la Empresa Holcim-Planta Latacunga se realizará con mayor confiabilidad y seguridad para los equipos y operadores eléctricos encargados de las maniobras de energización o desenergización de la Planta, para la cual se contará con dos maniobras de operación:

En el caso de desenergización de la Planta en primera instancia abrir el disyuntor de potencia de la subestación principal, seguido de la apertura de los seccionadores de dicha subestación y concluir con sus respectivas puestas a tierra, el procedimiento de secuencia anterior se aplica de igual manera para la subestación seccionadora de arranque de la Empresa.

En el caso de energización de la Planta será el proceso contrario al de desenergización, es decir, se retirará en primer lugar las puestas a tierra de los elementos, seguido del cierre de los seccionadores y finalmente cerrar el disyuntor de potencia que está en la capacidad de operar con o sin carga.

El objetivo de esta secuencia de operación es que se mejore la confiabilidad y seguridad al momento de realizar mantenimiento en la línea de 69 kV que se dirige hacia la Empresa Holcim o mantenimiento en sí dentro de la Planta porque la subestación seccionadora de arranque garantiza estar completamente aislada del flujo de energía eléctrica por el disyuntor de potencia que será implementado con posterioridad.

## **3.6 Desarrollo de la propuesta**

### ***3.6.1 Situación actual de la Subestación de arranque de la Empresa Holcim-Planta Latacunga.***

El estudio y dimensionamiento del disyuntor de potencia abarca diversos factores que involucran a las operaciones de la subestación seccionadora de arranque de la Planta, partiendo de esta premisa se realizó el siguiente análisis.

La subestación cuenta con un área física de 195 m<sup>2</sup> la cual opera a 69 kV y en sus instalaciones se puede observar la existencia de un seccionador de apertura vertical cuyas características eléctricas son: E11-1S1 con un voltaje nominal de 7,2-69 kV y una corriente en un rango de 200 A – 6 kA la cual se califica como una subestación seccionadora inconclusa, debido a que su bahía no cuenta con los elementos necesarios para interrumpir o restablecer el flujo de energía eléctrica, las líneas que transportan la energía a un nivel de 69 kV tiene una longitud de 600 m hasta llegar a la subestación principal de la Planta, en donde se cambia el nivel de voltaje a 4,16 kV con un transformador de 7,5 MVA, en la actualidad la Planta se estima en aproximadamente una potencia de 3,8 MW en demanda máxima.

De la recolección de datos de los medidores del CENACE en los interiores de la Empresa Holcim S.A.-Planta Latacunga las corrientes de fase con secuencia CBA oscilan entre 33 y 34 amperios con un voltaje aproximado de 68 kV, la Planta opera con una potencia activa de 3,864 MW y una potencia reactiva de 1,38 Mvar con un factor de potencia bajo de 0,94.

**FIGURA 29 SUBESTACION DE ARRANQUE HOLCIM**

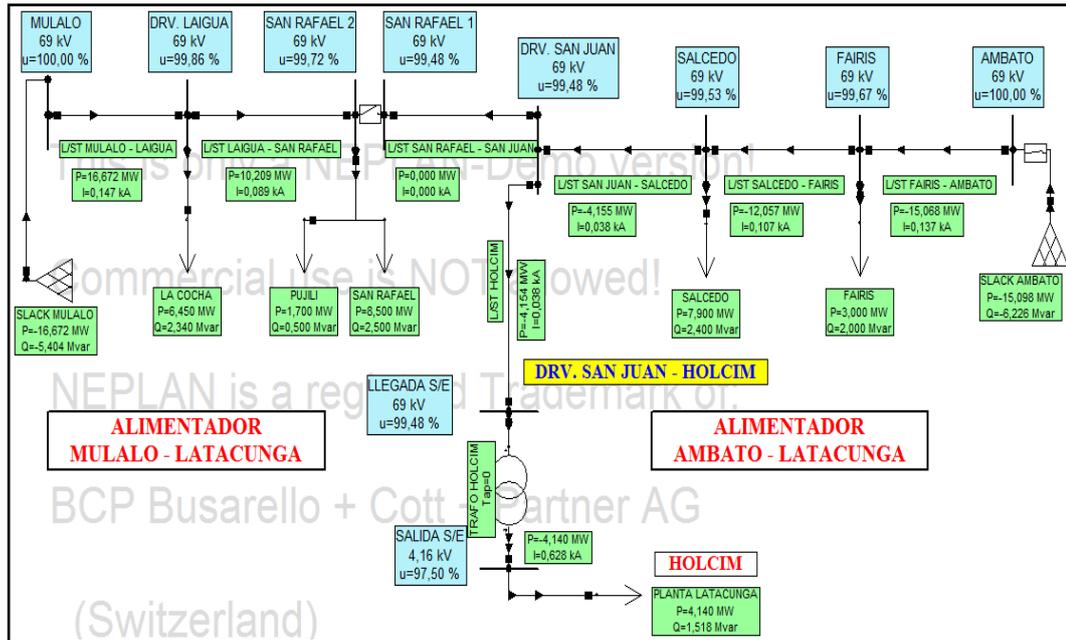


**Fuente:** HOLCIM S.A. (Planta Latacunga)  
**Elaborado por:** Investigadores.

Para iniciar con el estudio y dimensionamiento del disyuntor, se realizó la recolección de datos del sistema eléctrico de potencia en la que está involucrada la Empresa en estudio, parámetros los cuales fueron obtenidos en el Departamento Técnico a través del Ing. Henry Calle encargado de las subestaciones dentro del área de concesión de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., explicándose el mismo que puede llegar a existir dos motivos de estudio dentro del sistema eléctrico de potencia que se analizó, dentro del primer estudio original se presenta un sistema eléctrico cuyo flujo de potencia es suministrado desde la Barra Slack Ambato a 69 kV del alimentador Ambato-Latacunga en casos habitualmente normales de operación que distribuye energía eléctrica a la Empresa Fairis, Cantón Salcedo y Holcim-Planta Latacunga siendo el fin del alimentador en la subestación San Rafael que no tiene conexión alguna con dicha subestación y la segunda alternativa analizada involucra el flujo de potencia que se dirige desde la Barra Slack Mulaló a 69 kV del alimentador Mulaló-Latacunga, de los cuales se alimentarían La Cocha, San Rafael, Holcim-Planta Latacunga, Cantón Salcedo y la Empresa Fairis los cuales operan a un nivel de voltaje de 69

kV en el extremo caso de que el alimentador original Ambato-Latacunga se encuentre fuera de operación, logrando a través de una transferencia de carga por medio de un disyuntor de potencia localizado en la subestación eléctrica San Rafael.

**FIGURA 30 DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE POTENCIA**



**Fuente:** Software NEPLAN versión 5.24.

Los parámetros de las potencias y corrientes mínimas y máximas de las Barras Slack Ambato y Mulaló fueron obtenidas de la entidad TRANSELECTRIC, por medio de gestiones realizadas por parte del Dpto. Técnico de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., adicionalmente la colaboración del Msc. Ing Elec. Carlos Saavedra del departamento de Dirección de Planificación (Estudios Técnicos y Económicos) para adquirir las longitudes y parámetros eléctricos de las líneas involucradas en el sistema de potencia y finalmente con los parámetros eléctricos propios de la Empresa Holcim-Planta Latacunga proporcionada por técnicos de la misma.

Se realizó la simulación del análisis de corrientes de cortocircuito del sistema eléctrico de potencia en el software NEPLAN versión 5.24 que se presenta en la tabla 26.

### 3.6.2 Simulación del análisis de corrientes de cortocircuito del sistema eléctrico de potencia que involucra a la Empresa Holcim.

La Simulación de corrientes de cortocircuito trifásica y monofásica del sistema eléctrico de potencia, se realizó mediante el método IEC 60909 que sugiere el Software NEPLAN versión 5.24, de donde se obtuvieron los resultados de: corriente de interrupción simétrica (**I<sub>b</sub>**), corriente de interrupción asimétrica (**I<sub>asi</sub>**), corriente pico (**ip**), corriente de cortocircuito inicial (**I<sub>k''</sub>**) y potencia de cortocircuito inicial (**Sec''**).

#### 3.6.2.1 Resultados de la simulación de corrientes de cortocircuito del sistema eléctrico Holcim

**TABLA 27 CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO EN NODOS DE 69 KV**

<b>Corrientes de cortocircuito max. y min. del sistema eléctrico Holcim</b>							
<b>Corriente máxima de cortocircuito del sistema eléctrico Holcim</b>							
<b>Ubicación de Falla</b>	<b>I<sub>k''</sub> (kA)</b>	<b>ip (kA)</b>	<b>I<sub>b</sub> (kA)</b>	<b>I<sub>k</sub> (kA)</b>	<b>Idc (kA)</b>	<b>I<sub>b asi</sub> (kA)</b>	<b>Sec'' MVA</b>
<b>Mulaló</b>	<b>4.932</b>	<b>11.897</b>	<b>4.932</b>	<b>4.932</b>	<b>2.843</b>	<b>5.693</b>	<b>196.46</b>
<b>Corriente mínima de cortocircuito del sistema eléctrico Holcim</b>							
<b>Ubicación de Falla</b>	<b>I<sub>k''</sub> (kA)</b>	<b>ip (kA)</b>	<b>I<sub>b</sub> (kA)</b>	<b>I<sub>k</sub> (kA)</b>	<b>Idc (kA)</b>	<b>I<sub>b asi</sub> (kA)</b>	<b>Sec'' MVA</b>
<b>San Rafael 1</b>	<b>2.699</b>	<b>6.203</b>	<b>2.699</b>	<b>2.699</b>	<b>1.137</b>	<b>2.928</b>	<b>107.53</b>

**Fuente:** Software NEPLAN versión 5.24.

**Elaborado por:** Investigadores.

En la tabla 27 se presenta las corrientes mínimas y máximas del análisis de cortocircuito de los dos sistemas eléctricos simulados, se tiene que la corriente máxima de cortocircuito que se puede presentar en el sistema es de 4,932 kA producida en una falla monofásica, la cual se utilizó para determinar el poder de corte y de cierre del interruptor así como también los esfuerzos térmicos y

electrodinámicos en los componentes involucrados en el sistema eléctrico de potencia, mientras que 2,699 kA de una falla monofásica es la corriente mínima que se puede presentar en el sistema eléctrico de potencia, la misma que se utilizó para determinar el ajuste de los dispositivos de protección de los conductores frente a un caso de cortocircuito.

### ***3.6.3 Determinación de parámetros eléctricos nominales para el dimensionamiento del disyuntor de potencia.***

Para dar a conocer los parámetros eléctricos del disyuntor de potencia que como mínimo exige deben cumplir según las normas IEEE y ANSI se menciona las siguientes; IEEE Std C37.04-1999 “IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers”, ANSI C37.06-1997 “AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis-Preferred Ratings and Related Required Capabilities y IEEE Std C37.09-1999 “IEEE Standard Test Procedure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis, así como también una guía del ejemplar “FUNDAMENTOS DE PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS POR RELEVADORES” del Ing. Gilberto Enríquez Harper, que de cierta manera realiza un resumen o una síntesis de las normas requeridas.

Las antes mencionadas normas son un estándar de los parámetros que debe cumplir el disyuntor de potencia dimensionado y propuesto en un determinado sistema eléctrico de potencia que se ajusta a las necesidades reales del mismo en este caso a la Empresa Holcim-Planta Latacunga, son definiciones, enunciados, cuadros y fórmulas que permiten definir las características eléctricas de operación del equipo eléctrico.

Dentro del estudio realizado del sistema eléctrico de potencia cabe recalcar que para determinar las corrientes de cortocircuito simétrica y asimétrica e inclusive la

componente DC (corriente directa) de la corriente de cortocircuito en diferentes escenarios del sistema se hizo uso del software NEPLAN versión 5.24, como también se realizó una corrección del BIL (Basic Insulator Level) del estándar por altitud que se sirve de la norma IEC 60071-2 (1996). Insulation co-ordination–Part 2: Application guide–International Standard, Third edition, donde se especifica la fórmula que se utiliza para corregir este factor en función a la altitud de los metros sobre el nivel del mar.

El disyuntor de potencia tendrá un margen de operación de 3 ciclos, pues esta es una disposición de los técnicos del departamento eléctrico de la Planta, puesto que afirman no es necesario utilizar la condición de recierre del disyuntor por protocolos de seguridad de la Planta y por restablecer el flujo de energía conjuntamente en coordinación con la empresa distribuidora, tomando en cuenta cual fue el motivo de la contingencia eléctrica para la ausencia de energía y donde se produjo la misma.

La configuración del sistema eléctrico de potencia es radial y la filosofía convencional de interrupción de flujo de potencia que se utiliza recomienda tener seccionamiento de entrada, disyuntor y seccionamiento de salida para complementar la bahía de la subestación seccionadora, pero en este caso por espacio físico limitado de la subestación, la configuración será con seccionamiento de entrada, el respectivo disyuntor pero carecerá de seccionamiento de salida, obviamente el disyuntor será de tanque muerto por circunstancias de poca disponibilidad de espacio.

**TABLA 28 PARAMETROS ELECTRICOS REQUERIDOS PARA EL  
DISYUNTOR DE POTENCIA**

<b>Características eléctricas del disyuntor de potencia</b>		
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Especificación</b>
1	Número de polos	3
2	Frecuencia nominal	60 Hz
3	Voltaje nominal	69 kV
4	Voltaje máximo	72,5 kV
5	Corriente nominal máxima	78 A
6	Capacidad de interrupción nominal de cortocircuito	4,932 kA
7	Capacidad nominal de cierre en cortocircuito	12,527 kA
10	Tiempo de interrupción nominal (ciclos)	3
12	BIL (Nivel Básico de Aislamiento) a 60 Hz	450-185 kV
13	Medio de aislamiento	SF6

**Fuente:** Investigadores.

**Elaborado por:** Investigadores.

El análisis del sistema eléctrico de potencia Holcim arrojó como resultados los parámetros requeridos del disyuntor de potencia que se menciona en la tabla 28 dentro de los cuales el equipo eléctrico debe contar con tres polos debido a que el sistema eléctrico de potencia es trifásico a una frecuencia nominal de 60 Hz y voltaje de subtransmisión de 69 kV, equipo eléctrico que soporta un voltaje máximo de operación de 72,5 kV según se especifica en la norma IEC 60038-2002 standard voltajes, el disyuntor debe ser capaz de operar en forma continua a una corriente de 78 A en condiciones normales de operación del sistema eléctrico de la Planta, como también debe tener la capacidad de interrupción nominal de 4,932 kA corriente que se presenta en una falla o cortocircuito monofásico la cual define el poder de corte del disyuntor con un tiempo de interrupción nominal de 3 ciclos, el nivel básico de aislamiento tiene un valor de 450 kV a 3000 metros sobre el nivel del mar situación geográfica a la que se encuentra la Planta Holcim, el medio de extinción de arco se sirve de la tecnología del gas de hexafluoruro de azufre (SF6), que es un elemento que brinda o posee reunidas sus propiedades físicas, químicas y eléctricas favorables para la extinción de arcos eléctricos, no necesita de mantenimiento continuo y no contaminante al medio ambiente.

**TABLA 29 CAPACIDADES NOMINALES DE DISYUNTORES AISLADOS EN SF6**

<b>Circuit Breaker Type</b>	<b>Rated Maximum Voltage (Kv, rms)</b>	<b>Short Circuit and Short Time Current (kA, rms)</b>	<b>Maximum Continuous Current (A, rms)</b>	<b>Rated Interrupting Time (Cycles)</b>	<b>Full Wave Withstand Voltage (kV, Peak)</b>	<b>Power Frequency Insulation Withstand Voltage (kV, rms)</b>	<b>2 μ-sec Chopped Wave Impulse Voltage (kV, Peak)</b>	<b>Closing and Latching Current (kA, Peak)</b>
<b>38PM31-12</b>	38	31.5	1200	3	200	80	258	82
<b>38PM31-20</b>	38	31.5	2000	3	200	80	258	82
<b>38PM31-30</b>	38	31.5	3000	3	200	80	258	82
<b>38PM40-12</b>	38	40	1200	5	200	80	258	104
<b>38PM40-20</b>	38	40	2000	5	200	80	258	104
<b>38PM40-30</b>	38	40	3000	5	200	80	258	104
<b>48PM31-12</b>	48.3	31.5	1200	3	250	105	322	82
<b>48PM31-20</b>	48.3	31.5	2000	3	250	105	322	82
<b>48PM31-30</b>	48.3	31.5	3000	3	250	105	322	82
<b>48PM40-12</b>	48.3	40	1200	5	250	105	322	104
<b>48PM40-20</b>	48.3	40	2000	5	250	105	322	104
<b>48PM40-30</b>	48.3	40	3000	5	250	105	322	104
<b>72PM31-12</b>	<b>72.5</b>	<b>31.5</b>	<b>1200</b>	<b>3</b>	<b>350</b>	<b>160</b>	<b>452</b>	<b>82</b>
<b>72PM31-20</b>	72.5	31.5	2000	3	350	160	452	82
<b>72PM31-30</b>	72.5	31.5	3000	3	350	160	452	82
<b>72PM40-12</b>	72.5	40	1200	5	350	160	452	104
<b>72PM40-20</b>	72.5	40	2000	5	350	160	452	104
<b>72PM40-30</b>	72.5	40	3000	5	350	160	452	104

**Fuente:** Asea Brown Boveri disyuntores existente en el mercado.

**Elaborado por:** Investigadores

El equipo seleccionado 72PM31-12 es un disyuntor de potencia a un nivel de 69 kV existente en el mercado cuyas características eléctricas garantizan la operación nominal del sistema eléctrico Holcim, el cual tiene los parámetros que se especifican en la tabla 29.

Las especificaciones eléctricas del disyuntor de potencia comprende la operación a un nivel de voltaje de 69kV y soporta un voltaje máximo de operación de 72,5 kV, con una corriente de flujo continuo de 1200 A la que puede operar sin dificultad alguna en las operaciones Holcim, la capacidad de interrupción de cortocircuito de hasta los 31,5 kA que es una ventaja que justifica su selección debido a que la corriente pico más alta de cortocircuito que se produce es 11,897 kA, con un tiempo de interrupción nominal de 3 ciclos, el nivel básico de aislamiento es de 450 kV a 3000 metros sobre el nivel del mar situación geográfica a la que se encuentra la Planta Holcim-Latacunga, el medio de extinción de arco se sirve de la tecnología del gas de hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) que es un excelente aislante eléctrico y puede apagar un arco eléctrico en forma efectiva, reunidas sus propiedades físicas, químicas y eléctricas, estas propiedades hacen que tenga el equipo eléctrico una vida útil más prolongada.

**FIGURA 31 INTERRUPTOR DE POTENCIA DE 69 KV**



**Fuente:** Asea Brown Boveri disyuntores existente en el mercado.  
**Elaborado por:** Investigadores.

### **3.7 Ajustes operacionales de los relés de protección de sobrecorriente existentes en el sistema eléctrico de potencia**

Para dar inicio a la calibración de protecciones de sobrecorriente de la subestación de arranque de la Empresa Holcim-Planta Latacunga, se realizó una investigación de los ajustes (settings) de las protecciones involucradas en el sistema eléctrico de potencia. Se adquirió los ajustes con los que está operando el alimentador Ambato-Latacunga, información obtenida a través de la dirección electrónica de la entidad TRANSELECTRIC las cuales se reflejan en la tabla 30.

Los valores de los ajustes de la subestación San Rafael se los obtuvo con la ayuda del Departamento Técnico de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi a través del Ing. Henry Calle encargado de las subestaciones dentro del área de concesión de ELEPCO S.A. que hace uso de la unidad de protección de la marca G.E. (General Electric) F650, calibraciones dadas en la tabla 31.

Finalmente por medio del Departamento Eléctrico de la Empresa Holcim S.A.-Planta Latacunga, se obtuvo los ajustes de las protecciones del sistema eléctrico de las operaciones Holcim que se identifican en la tabla 32, protecciones las cuales cabe recalcar son monitoreadas por medio de un módulo TPU 2000R (Transformer Unit Protection) de la marca ABB cuya finalidad es brindar protección al transformador de potencia de 7,5 MVA que se encuentra en operación en la subestación principal.

**TABLA 30 AJUSTES DE PROTECCION DE SOBRECORRIENTE AMBATO-LATAACUNGA**

<b>AJUSTES ALIMENTADOR AMBATO-LATAACUNGA</b>									
<b>NIVEL DE TENSION (kV)</b>	<b>PROTECCION</b>	<b>DESIGNACION</b>	<b>RELE DE SOBRECORRIENTE</b>		<b>RCT</b>		<b>AJUSTES</b>		<b>Tipo de Curva</b>
			<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>			<b>TAP (A)</b>	<b>DIAL</b>	
69	FASE	51 F	GE	IAC 53 B	300	5	5	3	muy inversa
69	FASE	50 F	GE		300	5		0	
69	NEUTRO	51 N	GE	IAC 53 B	300	5	2	5,5	muy inversa
69	NEUTRO	50 N	GE		300	5		0	

**Fuente:** TRANSELECTRIC.

**Elaborado por:** Investigadores.

En la tabla 30 se describe los ajustes de las protecciones de sobrecorriente del alimentador Ambato-Latacunga el mismo que opera a un nivel de voltaje de 69 kV vigilado por dispositivos de protección de fase (51F) y de falla a tierra (51N) del fabricante General Electric (G.E.) modelo IAC 53 B con una relación de transformación de corriente de 300/5 y ajustes del TAP en 5 y un DIAL de 3 correspondientes al dispositivo 51F y ajustes del TAP en 2 y un DIAL de 5,5 correspondientes al dispositivo 51N que utiliza una curva muy inversa IAC 53.

**TABLA 31 AJUSTES DE PROTECCION DE SOBRECORRIENTE DE LA S/E SAN RAFAEL**

AJUSTES SUBESTACION SAN RAFAEL									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	FASE	51 F	GE	F650	300	5	2,92	3	IAC muy inversa
69	FASE	50 F	GE	F650	300	5	16,6	0	
69	NEUTRO	51 N	GE	F650	300	5	0,83	2	IAC muy inversa
69	NEUTRO	50 N	GE	F650	300	5	16,6	0	

**Fuente:** ELEPCO S.A.

**Elaborado por:** Investigadores.

En la tabla 31 se describe los ajustes de las protecciones de sobrecorriente de la subestación San Rafael la misma que opera a un nivel de voltaje de 69 kV vigilado por dispositivos de protección de fase (51F) y de falla a tierra (51N) del fabricante General Electric (G.E.) modelo F650 con una relación de transformación de corriente de 300/5 y ajustes del TAP de 2,92 y un DIAL de 3 correspondientes al dispositivo 51F y ajustes del TAP en 0,83 y un DIAL de 2 correspondientes al dispositivo 51N, que utiliza una curva IAC muy inversa.

**TABLA 32 AJUSTES DE PROTECCION DE SOBRECORRIENTE DE LA EMPRESA HOLCIM**

AJUSTES EMPRESA HOLCIM-PLANTA LATACUNGA									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	FASE	51P-1	ABB	TPU 2000 R	100	5	5,7	5	Extreme Inv
69	FASE	50P-1	ABB	TPU 2000 R	100	5	8	2	Short T Inv
69	NEUTRO	51N-1	ABB	TPU 2000 R	100	5	2	1	Extreme Inv
69	NEUTRO	150N-1	ABB	TPU 2000 R	100	5	2,5	0,25	Enable

**Fuente:** HOLCIM S.A.

**Elaborado por:** Investigadores

En la tabla 32 se describe los ajustes de las protecciones de sobrecorriente de la Empresa Holcim-Planta Latacunga la misma que opera a un nivel de voltaje de 69 kV vigilado por dispositivos de protección de fase (51F) y de falla a tierra (51N) del fabricante Asea Brown Boveri (ABB) modelo TPU 2000R con una relación de transformación de corriente de 100/5 y ajustes del TAP de 5,7 y un DIAL de 5 correspondientes al dispositivo 51F y ajustes del TAP en 2 y un DIAL de 1 correspondientes al dispositivo 51N, que utiliza una curva extremadamente inversa.

### **3.8 Determinación de los ajustes de los relés de protección de sobrecorriente para la subestación de arranque de la Empresa Holcim-Planta Latacunga**

Las protecciones de sobrecorriente que se proponen en el presente capítulo tienen como objetivo primordial proteger las líneas de 69 kV desde la subestación seccionadora de arranque hacia la Planta y adicionalmente como una protección de respaldo para el transformador de potencia que se encuentra en operación, a más de velar por la seguridad en caso de producirse una contingencia eléctrica en la ciudadela Valle Hermoso por donde se extiende el 30% de la línea de subtransmisión de 69 kV, elementos de protección que actuarán conjuntamente con el módulo TPU 2000R (Transformer Unit Protection) que se encuentra implementado en la subestación principal de la Empresa Holcim.

Las características principales del módulo TPU 2000R (Transformer Unit Protection) para protecciones de sobrecorriente 51P-1 y 51N-1 utiliza el estándar de curvas ANSI extremadamente inversa que opera en conjunto con un transformador de corriente (TC) con un RTC (relación de transformación de corriente) de 100/5.

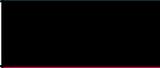
Para dar inicio a la coordinación de protecciones partimos de los ajustes del alimentador Ambato-Latacunga, los cuales están determinados por la entidad TRANSELECTRIC, se analizó la situación actual de las protecciones de sobrecorriente con la que se encuentra operando la Planta y el alimentador antes mencionado a un nivel de voltaje de 69 kV.

Se realizó modificaciones en las protecciones 51F y 51N de la unidad TPU de la subestación principal de la Empresa a un nivel de voltaje de 69 kV, debido a que la protección propuesta para coordinarse debe estar por debajo de la curva de daño del transformador y sobre la corriente de inrush del mismo para su operación en condiciones normales, motivo por el cual se utilizó un elemento de protección con

características similares a la unidad TPU 2000R conocido como DPU 2000R (Distribution Protection Unit) elemento que será utilizado para actuar conjuntamente con el disyuntor de potencia en la discriminación de fallas.

La trayectoria de la línea a 69 kV de la Empresa Holcim es muy corta por lo que se dificulta la coordinación y selectividad del dispositivo propuesto en la subestación de arranque con respecto al existente en la subestación principal de la Planta para protección de la línea y del transformador de potencia, cabe recalcar que los ajustes de las protecciones de sobrecorriente son planteados para la operación con el alimentador Ambato-Latacunga y se ha tomado en cuenta el estudio de los ajustes pertinentes de las protecciones de la S/E San Rafael en caso de producirse una transferencia de carga que implica el flujo de potencia con dirección a la Empresa Holcim, Salcedo y Fairis, para lo cual se han considerado las siguientes opciones de coordinación:

**TABLA 33 ESPECIFICACION DE COLOR DE CURVAS DE SOBRECORRIENTE**

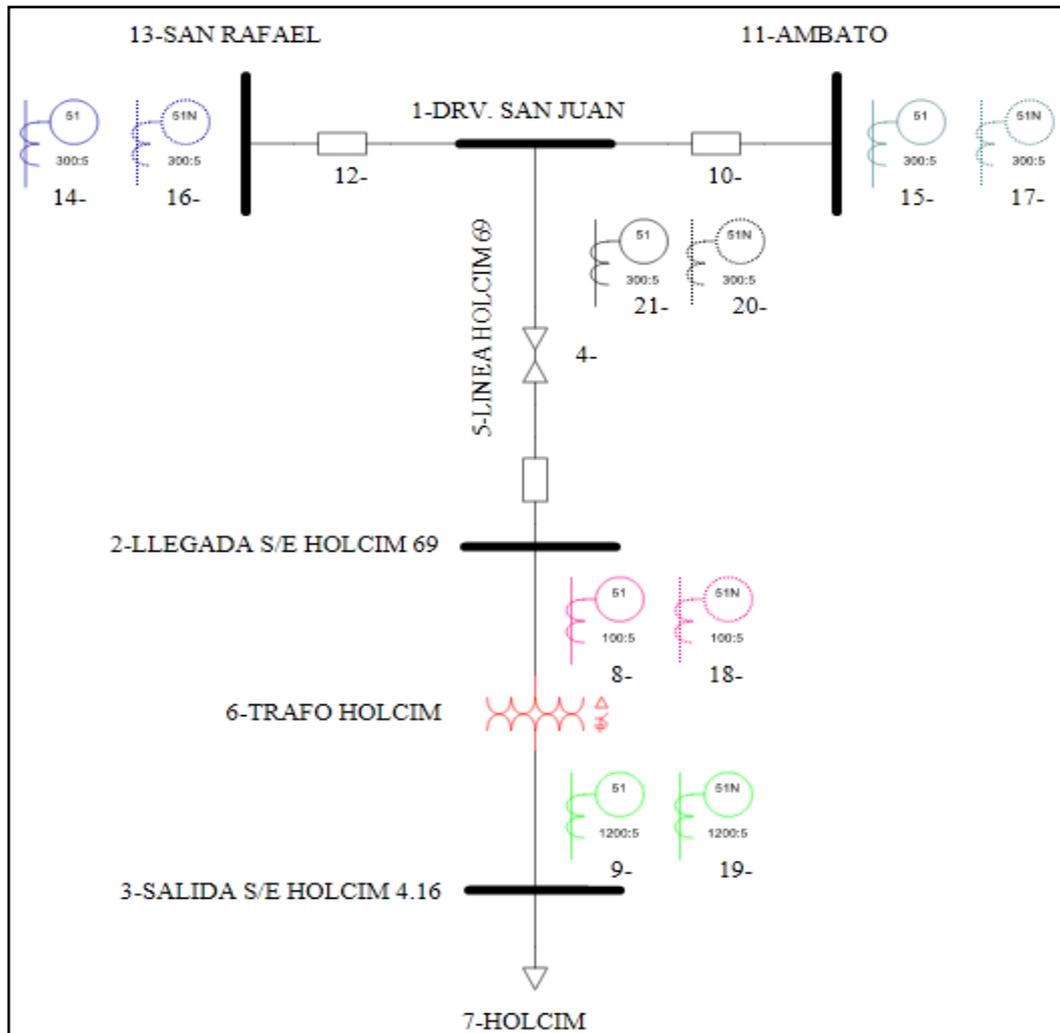
<b>COLOR DE CURVAS</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>COLOR</b>	<b>51F</b>	<b>51N</b>
GE IAC 53			
DPU 2000R			
TPU 2000R			

**Fuente:** Investigadores.

**Elaborado por:** Investigadores

En la tabla 33 se especifican los colores con los que están representadas las protecciones de sobrecorriente de fase y falla a tierra que se utilizaron para la coordinación de protecciones en el software CYMTCC, definiendo al elemento G.E. IAC 53 con el color celeste, el elemento DPU 2000R se representa con el color negro y finalmente el color rosado para el elemento TPU 2000R.

**FIGURA 32 DIAGRAMA UNIFILAR DE PRETECCIONES DE SOBRECORRIENTE 51F Y 51N DEL SISTEMA ELECTRICO**

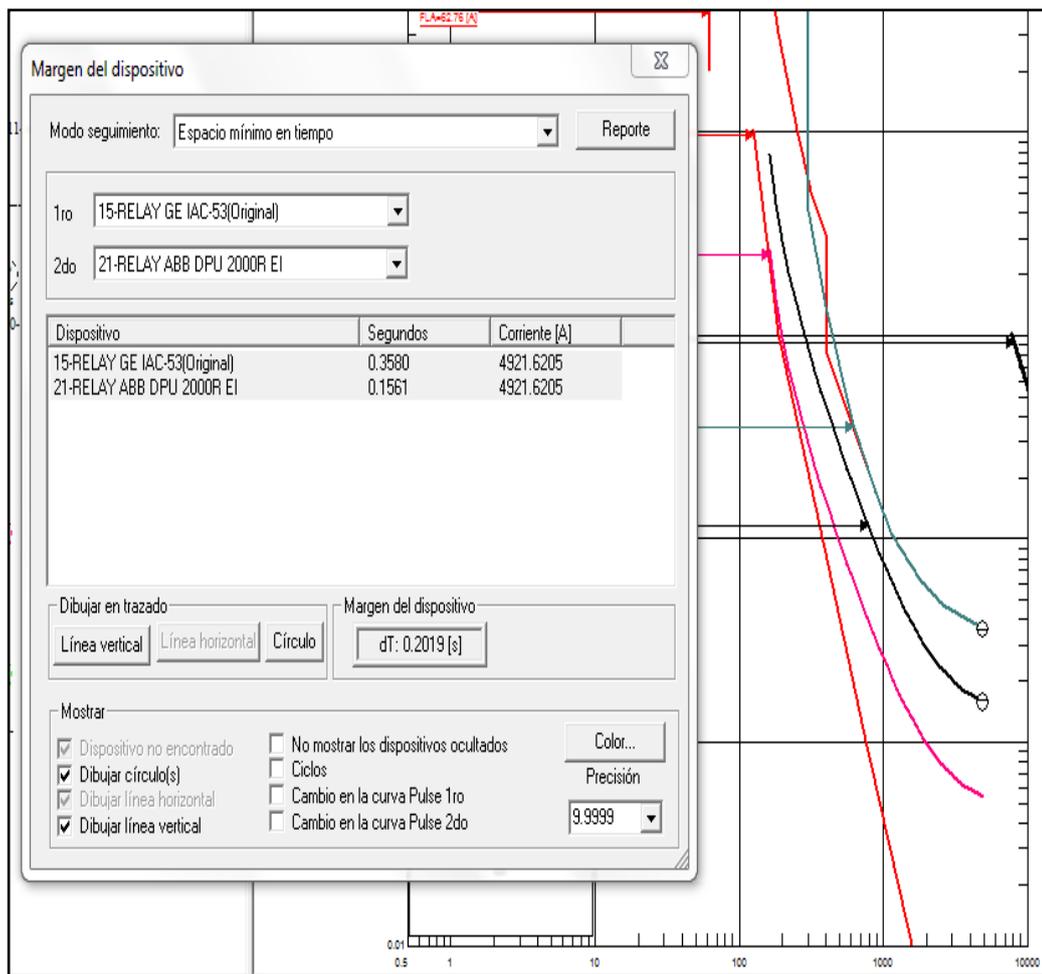


**Fuente:** Software CYMTCC.  
**Elaborado por:** Investigadores.

Al tener una línea de subtransmisión de 69 kV muy corta para la coordinación de los dispositivos de protección de sobrecorriente de fase 51F se dificulta, como primera opción se ha considerado reajustar las protecciones del TPU 2000R con los nuevos valores de TAP de 6,75 y 1,5 de DIAL de manera tal que actúe conjuntamente con la protección DPU 2000R con los valores de TAP de 2,25 y 3,72 de DIAL y de esta manera discriminar cualquier tipo de falla que se haya producido en los dominios Holcim y no afecte a la red de distribución, a más de ello logramos mantener los ajustes originales de las protecciones de sobrecorriente del alimentador Ambato-Latacunga, tomando en cuenta que el tiempo de paso de

200 ms de relé a relé se mantiene entre el dispositivo propuesto DPU 2000R y la protección G.E. IAC 53 del alimentador y finalmente la protección G.E. F650 de la subestación San Rafael al pertenecer al mismo fabricante y sus curvas características de tiempo corriente similares, dicha protección adoptará los ajustes de TAP de 5 y 3 de DIAL que se presentan para el alimentador Ambato-Latacunga que se especifican en la tabla 34.

**FIGURA 33 CURVAS DE RELES 51F AMBATO-HOLCIM**



**Fuente:** Software CYMTCC.  
**Elaborado por:** Investigadores.

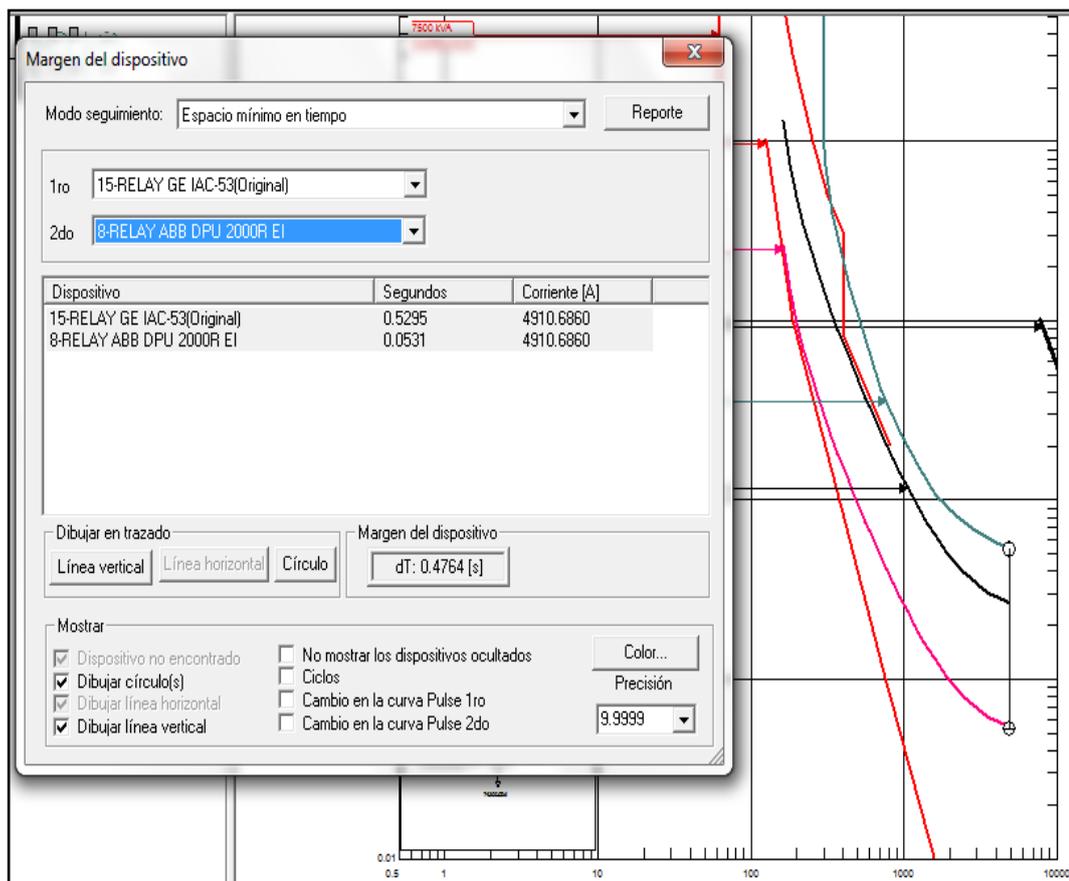
**TABLA 34 AJUSTES DE LAS PROTECCIONES DE SOBRECORRIENTE DE FASE 51F DEL SISTEMA**

<b>AJUSTES ALIMENTADOR AMBATO-LATACUNGA</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	FASE	51 F	GE	IAC 53 B	300	5	5	3	muy inversa
<b>AJUSTES SUBESTACION SAN RAFAEL</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	FASE	51 F	GE	F650	300	5	5	3	IAC muy inversa
<b>AJUSTES EMPRESA HOLCIM-PLANTA LATACUNGA</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	FASE	51P-1	ABB	TPU 2000 R	100	5	6,75	1,5	Extreme Inv
<b>S/E DE ARRANQUE PROTECCION DPU PROPUESTO</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	FASE	51P-1	ABB	DPU 2000 R	300	5	2,25	3,72	Extreme Inv

Fuente: Investigadores.  
Elaborado por: Investigadores

Como segunda premisa para lograr la calibración de las protecciones de fase 51F de sobrecorriente con un tiempo de paso de 200 ms los dispositivos de protección adoptan los siguientes valores: TPU 2000R con un TAP de 6,75 y DIAL de 1,5, DPU 2000R con un TAP de 2,25 y DIAL de 6 y GE IAC 53 con un TAP de 5 y DIAL de 4,5 se realizó un reajuste de DIAL de las protección de sobrecorriente del alimentador Ambato-Latacunga con un valor de DIAL de 3 a 4,5 para lograr desplazar la curva de tiempo corriente hacia arriba y establecer la selectividad entre los dispositivos de protección antes mencionados, de igual manera la S/E San Rafael modifica sus ajustes a un TAP de 5,9 y 3,5 de DIAL, como se muestra en la tabla 35.

**FIGURA 34 REAJUSTE DIAL ALIMENTADOR AMBATO-LATACUNGA**



**Fuente:** Software CYMTCC.  
**Elaborado por:** Investigadores.

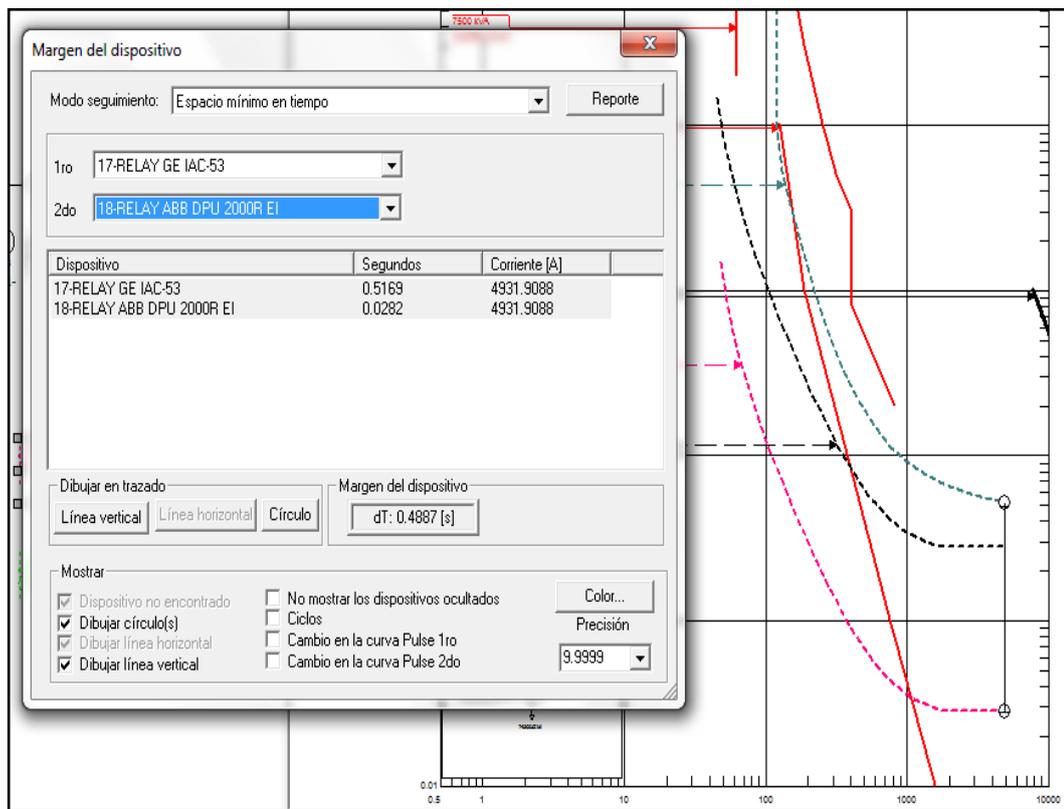
**TABLA 35 REAJUSTES DE LAS PROTECCIONES DE SOBRECORRIENTE DE FASE 51F DEL SISTEMA**

<b>AJUSTES ALIMENTADOR AMBATO-LATACUNGA</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	FASE	51 F	GE	IAC 53 B	300	5	5	4,5	muy inversa
<b>AJUSTES SUBESTACION SAN RAFAEL</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	FASE	51 F	GE	F650	300	5	5,9	3,5	IAC muy inversa
<b>AJUSTES EMPRESA HOLCIM-PLANTA LATACUNGA</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	FASE	51P-1	ABB	TPU 2000 R	100	5	6,75	1,5	Extreme Inv
<b>S/E DE ARRANQUE PROTECCION DPU PROPUESTO</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	FASE	51P-1	ABB	DPU 2000 R	300	5	2,25	6	Extreme Inv

Fuente: Software CYMTCC.  
Elaborado por: Investigadores.

Para los ajustes de los relés de falla a tierra 51N, se mantiene el criterio de tiempo de paso mínimo de 200 ms para coordinar el elemento de protección propuesto, debido a que las curvas características de los dispositivos de protección G.E. IAC 53 del alimentador Ambato-Latacunga y TPU 2000R de la Empresa Holcim originales permiten la selectividad ideal para la coordinación de los elementos de protección, los dispositivos de falla a tierra adoptan los siguientes valores: G.E. IAC 53 con un TAP de 2 y DIAL de 5,5 ajustes originales alimentador Ambato-Latacunga, G.E. F650 con un TAP de 2,66 y DIAL de 3,5 ajustes fijados para la S/E San Rafael, TPU 2000R con un TAP de 2 y DIAL de 1 ajustes originales de la Empresa Holcim-Planta Latacunga y DPU 2000R con un TAP de 0,63 y DIAL de 6,7 ajustes fijados para la operación de la protección propuesta en la subestación seccionadora de arranque de la Empresa Holcim como se especifica en la tabla 36.

**FIGURA 35 CURVAS DE RELES 51N AMBATO-HOLCIM**



**Fuente:** Software CIMTCC.  
**Elaborado por:** Investigadores.

**TABLA 36 AJUSTES DE PROTECCION DE SOBRECORRIENTE FALLA A TIERRA 51N DEL SISTEMA**

<b>AJUSTES ALIMENTADOR AMBATO-LATACUNGA</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	NEUTRO	51 N	GE	IAC 53 B	300	5	2	5,5	muy inversa
<b>AJUSTES SUBESTACION SAN RAFAEL</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	NEUTRO	51 N	GE	F650	300	5	2,66	3,5	IAC muy inversa
<b>AJUSTES EMPRESA HOLCIM-PLANTA LATACUNGA</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	NEUTRO	51N-1	ABB	TPU 2000 R	100	5	2	1	Extreme Inv
<b>S/E DE ARRANQUE PROTECCION DPU PROPUESTO</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	NEUTRO	51N-1	ABB	DPU 2000 R	300	5	0,63	6,7	Extreme Inv

Fuente: Investigadores.  
Elaborado por: Investigadores

Luego de haber realizado el análisis del sistema eléctrico de potencia de la Empresa Holcim-Planta Latacunga se determinó que el equipo más óptimo para las operaciones de Holcim que puede actuar sin ninguna dificultad bajo condiciones de falla o contingencia eléctrica y está en la capacidad de soportar e interrumpir las corrientes de cortocircuito es un disyuntor de potencia tripolar existente en el mercado cuyas características se describe en la tabla 37.

**TABLA 37 DISYUNTOR DE POTENCIA PROPUESTO**

<b>Características eléctricas del disyuntor existente en el mercado</b>		
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Especificación</b>
<b>1</b>	Número de polos	3
<b>2</b>	Frecuencia nominal	60 Hz
<b>3</b>	Voltaje nominal	69 kV
<b>4</b>	Voltaje máximo	72,5 kV
<b>5</b>	Corriente nominal máxima	1200 A
<b>6</b>	Capacidad de interrupción nominal de cortocircuito	31,5 kA
<b>10</b>	Tiempo de interrupción nominal (ciclos)	3
<b>12</b>	BIL (Nivel Básico de Aislamiento)	450 kV
<b>13</b>	Medio de aislamiento	SF6

**Fuente:** Investigadores.

**Elaborado por:** Investigadores.

El disyuntor de potencia propuesto presenta las características eléctricas para mantener el flujo constante de energía y satisfacer las diferentes necesidades de operación que requiere la Empresa Holcim-Planta Latacunga, así como también interrumpir o seccionar completamente a la Planta del sistema eléctrico, es decir, por la discriminación total de una falla ya que el disyuntor de potencia propuesto supera la capacidad de corriente máxima de cortocircuito del sistema, se realizó también la corrección del nivel básico de aislamiento que por la diferencia de metros sobre el nivel del mar los equipos eléctricos varían el BIL, corrección que se realiza mediante un factor de corrección por altitud estandarizado, como se especifica en la tabla 36 el BIL es de 450 kV para una altitud de 3000 metros sobre el nivel del mar, este equipo eléctrico tiene el medio de extinción de arco SF6 gas de hexafluoruro de azufre, que se caracteriza por menor utilización de

materiales, menor desperdicio de materiales luego de su vida útil, reducción de espacio físico, el proceso de disociación de la molécula es refrigerante y permite enfriar el arco eléctrico, después de la apertura de los contactos los gases ionizados no escapan al aire por lo que en la apertura del interruptor no produce casi ruido, recuperación rápida después del arco eléctrico, pueden operar durante largos años sin mantenimiento, su rigidez dieléctrica hace que sea un excelente aislante, siendo su única desventaja el costo inicial de implementación con respecto a otros disyuntores que utilizan otro medio de extinción de arco eléctrico a gran escala.

Este equipo servirá como protección de la línea de subtransmisión de 69 kV, hacia el transformador de 7.5 MVA, adecuado para operar a la intemperie, equipado de una cabina de control y su operación dependerá de las señales provenientes de los relés de protección de sobrecorriente que vigilan y discriminan la presencia de anomalías en el sistema de potencia, los cuales darán la orden para accionar el disyuntor de potencia que se encuentra ubicado en la subestación de Arranque de la Empresa Holcim, además estos dispositivos y equipo eléctrico velarán por la seguridad en caso de producirse una contingencia eléctrica en la ciudadela Valle Hermoso por donde se extiende el 30% de la línea de subtransmisión de 69 kV que se encuentran a una mínima distancia con la infraestructura de varias viviendas de dicha ciudadela.

Se realizó el estudio pertinente de las protecciones de sobrecorriente dentro de los cuales se optó por dos premisas para lograr la coordinación de dichas protecciones de fase 51F y de falla a tierra 51N, la una se diferencia por la pérdida de la selectividad de la otra propuesta, con la ventaja de que se mantienen los ajustes originales del alimentador de operación nominal del sistema para causar el mínimo impacto posible en la red de distribución y la otra medida o criterio de coordinación realiza una reconfiguración significativa dentro de los ajustes originales del alimentador Ambato-Latacunga, como se analiza en la tabla 36.

**TABLA 38 RECAPITULACION DE LOS AJUSTES DE LAS  
PROTECCIONES DE SOBRECORRIENTE**

<b>Reajustes de la protección 51F para la propuesta 1</b>				
<b>Empresa</b>	<b>Relé</b>	<b>Escenario</b>	<b>TAP</b>	<b>DIAL</b>
TRANSELECTRIC	G.E. IAC 53	Existente	5	3
ELEPCO S.A.	G.E F650	Existente	5	3
HOLCIM	TPU 2000R	Existente	6,75	1,5
HOLCIM	DPU 2000R	Propuesto	2,25	3,72
<b>Reajustes de la protecciones 51F para la propuesta 2</b>				
<b>Empresa</b>	<b>Relé</b>	<b>Escenario</b>	<b>TAP</b>	<b>DIAL</b>
TRANSELECTRIC	G.E. IAC 53	Existente	5	4,5
ELEPCO S.A.	G.E. F650	Existente	5,9	3,5
HOLCIM	TPU 2000R	Existente	6,75	1,5
HOLCIM	DPU 2000R	Propuesto	2,25	6
<b>Reajustes de la protecciones 51N para la propuesta</b>				
<b>Empresa</b>	<b>Relé</b>	<b>Escenario</b>	<b>TAP</b>	<b>DIAL</b>
TRANSELECTRIC	G.E. IAC 53	Existente	2	5,5
ELEPCO S.A.	G.E. F650	Existente	2,66	3,5
HOLCIM	TPU 2000R	Existente	2	1
HOLCIM	TPU 2000R	Propuesto	0,63	6,7

**Fuente:** Investigadores.

**Elaborado por:** Investigadores.

A continuación se realiza un análisis del resumen de calibración de protecciones de sobrecorriente de las respectivas propuestas de la tabla 38.

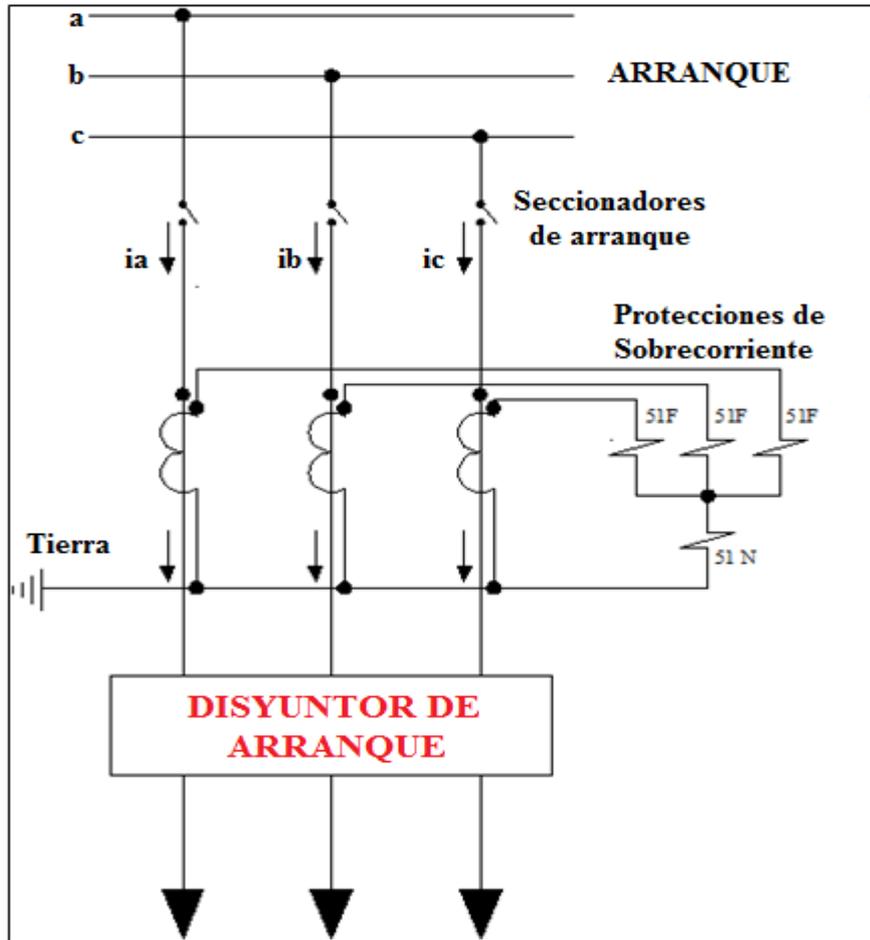
Los ajustes para la propuesta 1 de los relés de protección de sobrecorriente de fase 51F para no realizar cambios en las protecciones del alimentador Ambato-Latacunga se establece de la siguiente manera: G.E. IAC 53 se mantiene con un TAP de 5 y DIAL de 3 que son ajustes existentes del alimentador, G.E. F650 adopta los valores del alimentador antes mencionado con un TAP de 5 y DIAL de 3 en caso de una transferencia de carga a través de la subestación San Rafael, TPU 2000R modifica sus dos parámetros con un TAP de 6,75 y 1,5 de DIAL de los ajustes originales aumenta el valor del TAP y disminuye el valor del DIAL de la coordinación existente y finalmente la protección propuesta DPU 2000R con un

TAP de 2,25 y 3,72 de DIAL la cual actuara conjuntamente con la protección TPU 2000R perdiendo la selectividad entre dispositivos con el propósito de mantener el criterio de coordinación de 200 ms con el dispositivo de protección G.E. IAC 53 del alimentador antes mencionado.

Para los ajustes de la propuesta 2 de los relés de protección de sobrecorriente de fase 51F se realizó una modificación en los valores originales del alimentador Ambato-Latacunga que se establece de la siguiente manera: G.E. IAC 53 se mantiene con un TAP de 5 y se modifica el DIAL a 4,5 lo que permite desplazar la curva hacia arriba y lograr establecer la selectividad entre los dispositivos de protección del sistema eléctrico, G.E. F650 adopta el valor de un TAP de 5,9 y DIAL de 3,5 valores un tanto similares con el alimentador Ambato-Latacunga ya que sus curvas de tiempo corriente son casi similares y pertenecen al mismo fabricante, TPU 2000R mantiene los dos parámetros de la propuesta 1 con un TAP de 6,75 y 1,5 de DIAL y finalmente la protección propuesta DPU 2000R con un TAP de 2,25 y 6 de DIAL con estos ajustes de las protecciones se logra la selectividad deseada en el sistema con respecto a las protecciones de fase.

Para los ajustes de la propuesta de los relés de protección de sobrecorriente de falla a tierra 51N se mantienen los valores del alimentador Ambato-Latacunga y se establece de la siguiente manera: G.E. IAC 53 se mantiene con un TAP de 2 y DIAL de 5,5 que son ajustes existentes del alimentador, G.E. F650 adopta los valores de un TAP de 2,66 y DIAL de 3,5 en caso de una transferencia de carga a través de la subestación San Rafael, TPU 2000R mantiene sus dos parámetros con un TAP de 2 y 1 de DIAL de los ajustes originales y finalmente la protección propuesta DPU 2000R con un TAP de 0,63 y 6,7 de DIAL, ajustes los cuales cumplen con todos los criterios de coordinación para la selectividad entre los diferentes dispositivos de protección, cabe recalcar que las unidades instantáneas no fueron necesarias utilizarlas tanto para las protecciones de fase 51F y de falla a tierra 51N porque no existe ningún cruce entre las curvas características de los elementos existentes en operación.

**FIGURA 36 DIAGRAMA TRIFILAR DE LA SUBESTACION SECCIONADORA DE ARRANQUE DE LA EMPRESA HOLCIM**



**Fuente:** Investigadores.  
**Elaborado por:** Investigadores.

Finalmente se presenta el esquema del diagrama trifilar de la subestación seccionadora de arranque de la Empresa Holcim-Planta Latacunga en la figura 36, en la cual se describe las conexiones de los dispositivos de protección de sobrecorriente de fase (51F) y de falla a tierra (51N), los cuales vigilan o censan los valores de corriente de la red de suministro de energía además de ello se encuentran dotados de seccionadores de entrada los cuales operan sin carga a diferencia del disyuntor de potencia el cual fue dimensionado bajo normas estandarizadas y los parámetros eléctricos requeridos para las operaciones Holcim.

## CONCLUSIONES

- ✓ Los resultados del análisis de flujo de carga del sistema eléctrico de potencia de la Empresa Holcim a un nivel de 69 kV, determinó que la línea de subtransmisión Holcim se encuentra cargada a menos del 10% de su capacidad nominal en condiciones de operación a plena carga.
  
- ✓ La caída de voltaje que da como resultado la simulación de flujo de potencia del alimentador Ambato-Latacunga hacia la subestación principal de la Empresa Holcim es de 0,52%, a causa de que la distancia de transporte de energía no es extensa y las pérdidas son relativamente pequeñas debido a la elevada capacidad de transporte de corriente del conductor sobre la corriente nominal que fluye a través de ella, lo que significa que el sistema es lo suficientemente robusto y estaría en la capacidad de soportar una repotenciación de Planta Holcim, lo cual se establece como una ventaja para el sistema eléctrico.
  
- ✓ Para poder determinar el poder de corte del disyuntor de potencia se realizó un análisis de cortocircuito trifásico y monofásico del sistema de potencia, se obtuvo el cortocircuito más crítico en la simulación de transferencia de carga Mulaló-Holcim, siendo una falla monofásica con un valor de 4,932 kA.
  
- ✓ El nivel básico de aislamiento (BIL) en valores de tablas estandarizadas a un voltaje de 69 kV es de 325 kV a nivel del mar, en el caso de la subestación de arranque de la Empresa Holcim al encontrarse en la ciudad de Latacunga a 3000 metros sobre el nivel del mar, se realizó una corrección por altitud en el BIL, siendo el nuevo nivel básico de aislamiento de 450 kV.

- ✓ Las protecciones de sobrecorriente de fase 51F de alto y bajo voltaje del transformador de potencia se fijaron en ajustes idénticos porque existe un solo disyuntor en el lado de alto voltaje que actúa en caso de contingencia o falla eléctrica en lado primario o secundario del transformador, cuyas curvas se encuentra sobre la corriente de inrush para evitar disparos por energización del transformador y bajo la curva de daño del transformador para proteger al mismo.
  
- ✓ Las protecciones de sobrecorriente de falla a tierra 51N de alto y bajo voltaje del transformador de potencia se fijaron en ajustes idénticos, puesto que existe un solo disyuntor en el lado de alto voltaje que actúa en caso de contingencia o falla eléctrica en lado primario o secundario del transformador, cumpliendo con el criterio de tiempo de paso de 200 ms con las protecciones que se encuentran aguas arriba de la subestación principal de la Empresa.
  
- ✓ Al existir una línea de subtransmisión muy corta entre la subestación de arranque y la subestación principal de la Empresa las protecciones propuestas actuaran conjuntamente con las protecciones de sobrecorriente del transformador para discriminar cualquier tipo de falla o contingencia eléctrica dentro de los dominios Holcim y de esta manera no afecte a la empresa distribuidora de energía eléctrica ELEPCO S.A.
  
- ✓ Los ajustes de las protecciones del sistema eléctrico de potencia 50F y 50N no se fijaron debido a que las curvas características de cada elemento de protección 51F y 51N no tiene intersección alguna en ningún punto de operación de las curvas tiempo corriente.

## RECOMENDACIONES

- ✓ El análisis de corrientes de cortocircuito es de vital importancia para lograr un dimensionamiento acertado de los equipos y dispositivos de protección, control y medida, cumpliendo con las exigencias operativas y características eléctricas del sistema de potencia.
  
- ✓ Las excelentes propiedades eléctricas que ofrece un disyuntor de potencia aislado en SF<sub>6</sub>, tiene notorias ventajas con respecto a otros disyuntores que ofrecen otro tipo de tecnología o medio de extinción del arco eléctrico, siendo su única desventaja el costo de implementación inicial.
  
- ✓ El disyuntor de potencia para operar a un nivel de subtransmisión de 69 kV, debe estar en la capacidad de soportar un voltaje máximo de diseño de 72,5 kV, como se especifica en la norma IEC 60038-2002 standard voltajes, debido a las anomalías o perturbaciones que puede existir en el sistema eléctrico de potencia.
  
- ✓ Para complementar la bahía de la subestación de arranque de la Empresa es fundamental la dotación de espacio físico adecuado para la implementación del disyuntor ya que este debe contar necesariamente con seccionamiento de entrada como de salida hacia la subestación principal de la Empresa, ya que de mantener la situación actual solo contaría con seccionamiento de entrada.
  
- ✓ Para mantener los criterios de coordinación de protecciones con un tiempo de paso de 200 ms entre los dispositivos de protección TPU 2000R, DPU 2000R y GE IAC 53, solicitar a la Empresa Eléctrica de Ambato o la autoridad competente hacer un reajuste en el dial de 3 a 4,5 de la

protección de sobrecorriente 51F del dispositivo GE IAC 53 del alimentador Ambato-Latacunga.

- ✓ Para el caso de transferencia de carga desde el alimentador Mulalo-Holcim, la subestación San Rafael debe adoptar los ajustes de las protecciones de sobrecorriente 51F Y 51N basados en el análisis de simulación de corrida de flujos y cortocircuito que consta como segundo caso de estudio y que cumplen con los criterios de coordinación.
  
- ✓ La implementación del disyuntor de potencia propuesto cuenta con las características eléctricas necesarias para fortalecer las carencias del sistema eléctrico de la Empresa Holcim S.A. Planta Latacunga, ya que con su inserción en el sistema eléctrico se mejorará las maniobras de operación de la subestación, se despejará contingencias eléctricas, se logrará renovar la seguridad en la subestación y reducir al mínimo las fatalidades hombre-máquina.

## GLOSARIO DE TERMINOS Y SIGLAS

**Aguas abajo:** En electricidad se refiere a todos los componentes o equipos eléctricos que se encuentran hacia atrás desde un punto de referencia establecido.

**Aguas arriba:** En electricidad se refiere a todos los componentes o equipos eléctricos que se encuentran hacia adelante desde un punto de referencia establecido.

**ANSI:** Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (American National Standards Institute)

**Alto voltaje:** Nivel de voltaje superior a 40 kV, y asociado con la Transmisión y Subtransmisión.

**Bahía:** Una bahía es un elemento de una subestación, conformada por equipos de maniobra: (interruptores; seccionadores) y equipos de protección, medición y control.

**Bajo voltaje:** Instalaciones y equipos del sistema de la Distribuidora que operan a voltajes inferiores a los 600 voltios.

**Barra Slack:** Es la que suministra la diferencia entre la potencia compleja inyectada al sistema en el resto de las barras.

**BIL:** Nivel Básico de Aislamiento.

**Carga:** Cantidad de potencia que debe ser entregada en un punto dado de un sistema eléctrico.

**C.C.:** Cortocircuito.

**CENECE:** Centro Nacional de Control de Energía.

**CELEC S.A.:** Corporación Eléctrica del Ecuador S.A.

**CONELEC:** Consejo Nacional de Electricidad.

**CIETEC:** Centro Integrado de Estudios Técnicos de la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi.

**Contingencia:** Anormalidad en el sistema de control de una central, subestación o punto de seccionamiento alternativo instalado en el sistema de la distribución de energía eléctrica.

**Cortocircuito:** Conexión accidental o voluntaria de dos bornes a diferentes potenciales.

**Descarga:** Paso brusco de electricidad de un cuerpo a otro de diferente potencial o tensión.

**DIAL:** Es el retardo de tiempo antes de que el relé opere.

**DPU:** Unidad de Protección de Distribución.

**ELEPCO S.A.:** Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi.

**Falla:** Perturbación que impide la operación normal.

**Fr:** Frecuencia en tabulación de datos.

**Fr%:** Frecuencia porcentual en tabulación de datos.

**Gbl.:** Global.

**GE:** General Electric.

**Iasi:** Corriente de interrupción asimétrica.

**iDC:** Componente DC de la corriente CC.

**IEEE:** Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

**IEC:** Comisión Electrotécnica Internacional.

**Ik”:** Corriente de cortocircuito inicial.

**Isim:** Corriente de interrupción simétrica.

**K:** Kilo, prefijo que implica (1) multiplicar por mil el valor correspondiente.

**kA:** Kilo Amperios.

**kV:** Kilo Voltios.

**MAKING CURRENT:** Corriente de cierre sobre cortocircuito.

**MVA:** Unidad de medida de la potencia aparente en el Sistema Internacional de Unidades, que corresponde a un Mega Voltamperios. Se utiliza para definir la capacidad de los transformadores de potencia.

**Nodo:** Punto donde se puede inyectar o extraer energía o potencia de la red de transmisión.

**Perturbación:** Acción y efecto de trastornar el estado estable del sistema eléctrico.

**Protección:** Es el conjunto de relevadores y aparatos asociados que disparan los interruptores necesarios para separar equipo fallado.

**Scc”:** Potencia de cortocircuito inicial.

**SEP:** Sistemas Eléctricos de Potencia.  
**SNT:** Sistema Nacional de Transmisión.  
**TAP:** Valor que define la corriente de arranque del relé.  
**TC:** Transformador de corriente.  
**TI:** Transformador de instrumento.  
**TRANSELECTRIC:** Unidad de negocio de CELEC S.A.  
**TPU:** Unidad de Protección de Transformador.  
**TP:** Transformador de potencial.  
**51F:** Relé de sobrecorriente de fase.  
**51N:** Relé de sobrecorriente de falla a tierra.  
**1Ø:** Monofásico.  
**3Ø:** Trifásico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### Bibliografía Citada

- ✓ **ENRIQUEZ, Gilberto**, *Elementos de Protección de Sistemas Eléctricos*, Editorial Limusa, México, 2011.
- ✓ **ENRIQUEZ, Gilberto**, *Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores*, 2<sup>da</sup>Edición, Editorial Limusa. México, 2002.
- ✓ **ENRIQUEZ, Gilberto**, *Diseño de subestaciones eléctricas*, 2<sup>da</sup>Edición, Editorial Limusa, México, 2005.
- ✓ **GRAINGER, John-STEVENSON, William Jr**, *Análisis de sistemas de Potencia*, Editorial McGraw-Hill, México, 2001.
- ✓ **ENRIQUEZ, Gilberto**, *Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales*, 2<sup>da</sup>Edición, Editorial Limusa, México, 2011.

### Bibliografía Consultada

- ✓ **ENRIQUEZ, Gilberto**, *Elementos de Protección de Sistemas Eléctricos*, Editorial Limusa, México, 2011.
- ✓ **CALLEJO, Javier**, *Introducción a las técnicas de investigación social*, Editorial universitaria Ramón Areces, Madrid.
- ✓ **SALKIND, Neil J**, *Métodos de Investigación*, 3<sup>ra</sup>Edición, Editorial Prentice Hall. M1999.
- ✓ IEEE Std C37.04-1999. **IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers.**
- ✓ ANSI C37.06-1997. **IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers.**
- ✓ IEEE Std C37.09-1999. **IEEE Standard Test Procedure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis.**

- ✓ IEC 60071-2 (1996). **Insulation co-ordination–Part 2: Application guide–International Standard, Third edition.**

### **Bibliografía Virtual**

- ✓ Oliver Gómez. (2010). "Enatrel extiende red de fibra óptica estatal." Acceso: 13 marzo, 2013, Disponible en:  
<http://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/81285> (S/E)
- ✓ TRANSELECTRIC. (2010). "Glosario de términos del sistema eléctrico ecuatoriano." Acceso: 28 marzo, 2013, Disponible en:  
[http://www.transelectric.com.ec/transelectric\\_portal/files/terminologia.pdf](http://www.transelectric.com.ec/transelectric_portal/files/terminologia.pdf)
- ✓ TRANSELECTRIC. (2014). "Protección de sobrecorriente de alimentadores abril 2014." Acceso: 2 abril, 2014, Disponible en:  
[https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners\\_home/parametros%20limites%20operaciones/Protecciones.pdf](https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/parametros%20limites%20operaciones/Protecciones.pdf)
- ✓ CENACE. (2013). "Niveles de cortocircuito en las barras del S.N.I." Acceso: 29 octubre, 2013, Disponible en:  
[https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cenace.org.ec%2Findex.php%3Foption%3Dcom\\_phocadownload%26view%3Dcategory%26id%3D2%3Aphocatmem%26download%3D492%3Aniveles-de-cortocircuito-en-barras-e-impedancias-equivalentes-del-s.n.i.-mayo-de-2013%26Itemid%3D6&ei=oK1eU-iTKtagyATxmoGgAQ&usg=AFQjCNFwOx32CYqPkGKxDampinbGdX5VEg&bvm=bv.65397613,d.aWw](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cenace.org.ec%2Findex.php%3Foption%3Dcom_phocadownload%26view%3Dcategory%26id%3D2%3Aphocatmem%26download%3D492%3Aniveles-de-cortocircuito-en-barras-e-impedancias-equivalentes-del-s.n.i.-mayo-de-2013%26Itemid%3D6&ei=oK1eU-iTKtagyATxmoGgAQ&usg=AFQjCNFwOx32CYqPkGKxDampinbGdX5VEg&bvm=bv.65397613,d.aWw)
- ✓ CENACE. (2001). "Protección de sistemas eléctricos de potencia y automatismos." Acceso: 8 enero, 2014, Disponible en:

[http://biblioteca.cenace.org.ec:8180/jspui/bitstream/123456789/826/60/PR  
OTEC-TEMA3.pdf](http://biblioteca.cenace.org.ec:8180/jspui/bitstream/123456789/826/60/PR_OTEC-TEMA3.pdf)

- ✓ Segovia Jorge. (2013). “Estudio de Coordinacion de las Protecciones por Métodos Computarizados Aplicados a la Subestación de Guayacanes.” Acceso: 10 marzo, 2014, Disponible en:  
[http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D\\_Tesis\\_PDF/D-94171.pdf](http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-94171.pdf)

# ANEXOS

## ANEXO 1 ENCUESTA

### CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICA

Los postulantes de la carrera antes mencionada de la Universidad Técnica de Cotopaxi previo a la obtención del título de Ingenieros en Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP), solicitamos muy comedidamente se digne contestar la presente encuesta con la verdad.

#### OBJETIVO

La presente encuesta tiene como objetivo primordial recopilar información en tiempo real para el emprendimiento de un proyecto de investigación, que contribuirá para el estudio del dimensionamiento de un disyuntor de potencia para la subestación de arranque de la Empresa Holcim.

#### INDICACIONES

Dígnese en marcar con una (X) de acuerdo a su criterio, el siguiente listado de ítems.

1.- ¿Conoce usted la situación actual de operación de la subestación de arranque de la Empresa Holcim?

SI

NO

2.- ¿Cree usted que la subestación de arranque de la Empresa Holcim, en la actualidad está en la capacidad de interrumpir el flujo de energía en condiciones normales o anormales del sistema eléctrico?

SI

NO

¿Porqué?.....  
.....  
.....

3.- ¿Conoce usted las maniobras de operación de dicha subestación para la apertura o cierre de la línea de subtransmisión de 69 kV?

SI

NO

4.- ¿Sabe usted de algún incidente o accidente suscitado por maniobra o falla eléctrica en las instalaciones de la subestación de arranque de la Empresa en años anteriores?

SI

NO

En caso de que su respuesta sea si, **¿Qué incidente o accidente?**

.....  
.....  
.....

5.- ¿Cree usted que en la situación actual, una contingencia eléctrica en la red de 69 KV de la Empresa Holcim, afectaría al sistema eléctrico de potencia administrada por la distribuidora ELEPCO S.A.?

SI

NO

**¿Porqué?**.....  
.....  
.....

6.- ¿Considera usted que la subestación seccionadora de la Empresa tiene los elementos necesarios para operar el sistema eléctrico de potencia?

SI

NO

**¿Porqué?**.....  
.....  
.....

7.- ¿Cree usted que la subestación seccionadora de arranque de la Empresa necesita un disyuntor de potencia?

SI

NO

**¿Porqué?**.....  
.....  
.....

**8.-** ¿Cree usted que el estudio para el dimensionamiento de un disyuntor de potencia facilitaría escoger o determinar el equipo adecuado para operar bajo los parámetros requeridos de la subestación?

**SI**  **NO**

**¿Porqué?**.....  
.....  
.....

**9.-** Establecido el dimensionamiento del disyuntor de potencia. ¿Considera usted que su implementación en la subestación de arranque de la Empresa mejorará las maniobras de operación del sistema eléctrico?

**SI**  **NO**

**¿Porqué?**.....  
.....  
.....

**10.-** Con el mejoramiento de los procesos de operación de la subestación de arranque de la Empresa. ¿Cuáles cree usted que serían las partes beneficiarias?

EMPRESA HOLCIM S.A.   
ELEPCO S.A.   
LA COMUNIDAD   
TODOS

**Gracias por la atención y colaboración prestada para la realización de la presente encuesta.**

## ANEXO 2 PARAMETROS ELECTRICOS DEL SISTEMA DE SUBTRANSMISION



### FORMULARIO DE PARAMETROS ELECTRICOS DEL SISTEMA DE SUBTRANSMISION

**RESPONSABLE:** [REDACTED]

**CARGO:** [REDACTED]

**FECHA:** 29 de abril de 2013

**DISTRIBUIDORA:** E. E. Cotopaxi

No.	LINEA	S/E SALIDA	S/E LLEGADA	V (kV)	LONG (km)	NOM.	TIPO	CAL. (AWG O kcmil)	R1 (Ohm/km)	X1 (Ohm/km)	G1 (uS/km)	B1 (uS/km)	R0 (Ohm/km)	X0 (Ohm/km)	Imax (A)	Cap. Lím. término (MVA)	OBS.
2	Drv. Fairis - Salcedo	Fairis	Salcedo	69	9.681	Ostrich	Ascr	300MCM	4.46	10.65	0,22	0,09	10.47	34.32	390	15.54	A 100 MVA Base
3	Salcedo - Drv. San Juan	Salcedo	Drv. San Juan	69	9.659	Ostrich	Ascr	300MCM	4.31	10.29	0,23	0,10	10.11	33.16	390	15.54	A 100 MVA Base
4	Drv. San Juan - Holcim	Drv. San Juan	Holcim	69	0.672	Ostrich	Ascr	300MCM	0.65	1.56	1,54	0,64	1.53	5.01	390	15.54	A 100 MVA Base
5	Drv. San Juan - San Rafael	Drv. San Juan	San Rafael	69	1.454	Ostrich	Ascr	300MCM	0.59	1.4	1,69	0,71	1.38	4.51	390	15.54	A 100 MVA Base
6	San Rafael - Drv. Laigua	San Rafael	Drv. Laigua	69	10.445	Partridge	Ascr	266,8MCM	4.74	14.55	0,21	0,07	10.93	30.15	355	14.14	A 100 MVA Base
7	Drv. Laigua - La Cocha	Drv. Laigua	La Cocha	69	6.344	Partridge	Ascr	266,8MCM	2.92	8.95	0,34	0,11	6.72	18.55	355	14.14	A 100 MVA Base
8	Drv. Laigua - Mulaló	Drv. Laigua	Mulaló	69	7.867	Partridge	Ascr	266,8MCM	3.62	11.11	0,28	0,09	8.34	23.01	355	14.14	A 100 MVA Base
9	Mulaló - Lasso	Mulaló	Lasso	69	6.551	Partridge	Ascr	266,8MCM	3.01	9.25	0,33	0,11	6.94	19.16	355	14.14	A 100 MVA Base
10	Lasso - Sigchos	Lasso	Sigchos	69	33.766	Partridge	Ascr	266,8MCM	11.33	34.8	0,09	0,03	26.13	72.1	355	14.14	A 100 MVA Base

### ANEXO 3 EQUIVALENTE DE RED AMBATO



SUBGERENCIA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
SUBESTACION AMBATO
EQUIVALENTE DE CORTOCIRCUITO
Fecha: 31/05/2013

#### EQUIVALENTES EN AMBATO 69 kV

Voltaje base	69	kV
Potencia base	100	MVA
Impedancia base	47,61	OHMS

IMPEDANCIAS DE SECUENCIA	MAXIMA (Con las centrales San Francisco, Agoyan y Pucara)				CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO					
	ohmios		PU		Trifásica		Bifásica		Monofásica	
	R	X	R	X	(kA)	MVA	(kA)	MVA	(kA)	MVA
Z0	0,213	6,779	0,004	0,142	4,063	485,58	3,52	140,24	4,639	184,80
Z1	0,730	10,760	0,015	0,226						
Z2	0,729	10,751	0,015	0,226						

IMPEDANCIAS DE SECUENCIA	MINIMA (Sin las centrales San Francisco, Agoyan y Pucara)				CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO					
	OHMS		PU		Trifásica		Bifásica		Monofásica	
	R	X	R	X	(kA)	MVA	(kA)	MVA	(kA)	MVA
Z0	0,238	7,263	0,005	0,153	3,481	416,02	3,01	119,92	4,048	161,26
Z1	0,953	12,551	0,020	0,264						
Z2	0,957	12,590	0,020	0,264						

## ANEXO 4 EQUIVALENTE DE RED MULALO



SUBGERENCIA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
SUBESTACION MULALO
EQUIVALENTE DE CORTOCIRCUITO
Fecha: 31/05/2013

### EQUIVALENTES EN MULALO 69 kV

Voltaje base	69	kV	
Potencia base	100	MVA	
Impedancia base	47,61	OHMS	

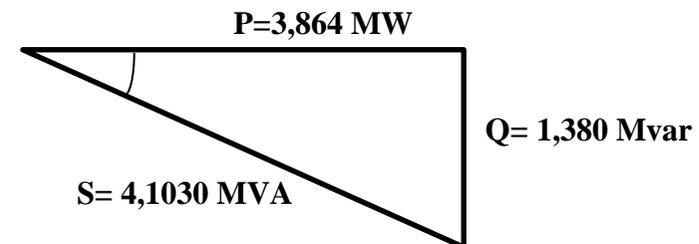
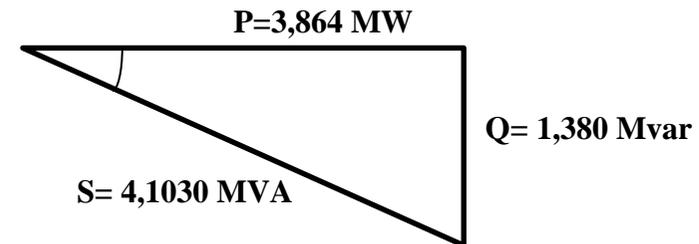
IMPEDANCIAS DE SECUENCIA	MAXIMA (Sin generación interna y Con las centrales San Francisco, Agoyan y Pucara)				CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO					
	ohmios		PU		Trifásica		Bifásica		Monofásica	
	R	X	R	X	(kA)	MVA	(kA)	MVA	(kA)	MVA
Z0	0,599	8,185	0,013	0,172	4,406	526,57	3,816	152,01	4,680	186,43
Z1	1,176	9,876	0,025	0,207						
Z2	1,174	9,875	0,025	0,207						

IMPEDANCIAS DE SECUENCIA	MINIMA (Sin generación interna y Sin las centrales San Francisco, Agoyan y Pucara)				CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO					
	OHMS		PU		Trifásica		Bifásica		Monofásica	
	R	X	R	X	(kA)	MVA	(kA)	MVA	(kA)	MVA
Z0	0,678	9,091	0,014	0,191	3,852	460,36	3,335	132,86	4,126	164,36
Z1	1,469	11,279	0,031	0,237						
Z2	1,468	11,288	0,031	0,237						

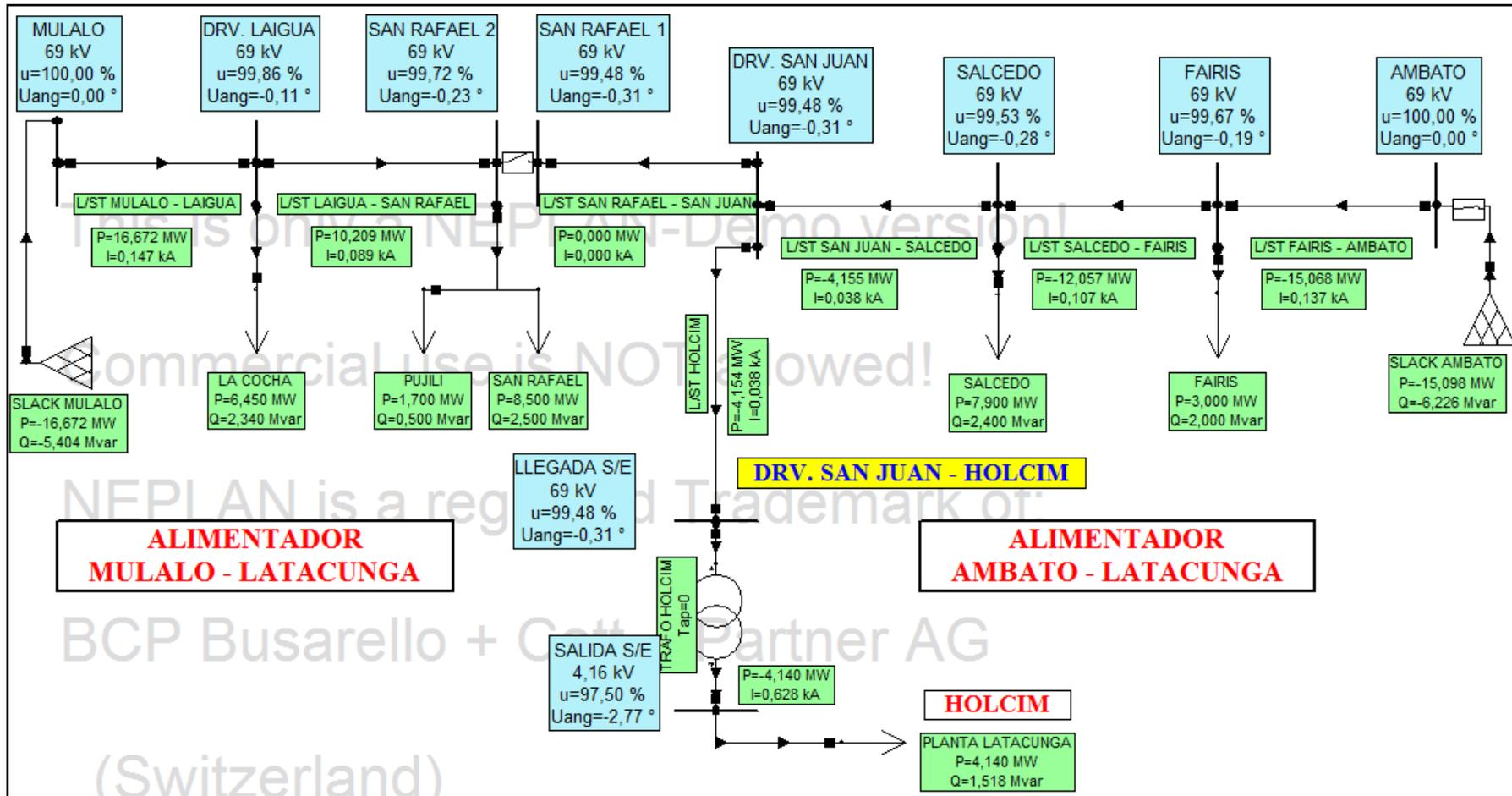
## ANEXO 5 PARAMETROS ELECTRICOS HOLCIM

RECOLECCION DE DATOS DE LOS MEDIDORES DEL CENACE		
MEDIDOR SR.E11-2N1		
SECUENCIA CBA		
	<b>VOLTIOS (VLTS)</b>	<b>AMPERIOS (A)</b>
FASE C	67611.668	34.428
FASE B	67308.073	35.412
FASE A	66965.947	34.057
<b>POTENCIAS</b>		
<b>Potencia Activa</b>	<b>Potencia Reactiva</b>	<b>Factor de Potencia</b>
P (MW)	Q (MVAR)	fp
3.864	1.38	0.94

RECOLECCION DE DATOS DE LOS MEDIDORES DEL CENACE		
MEDIDOR SR.E11-2N1		
SECUENCIA CBA		
	<b>VOLTIOS (VLTS)</b>	<b>AMPERIOS (A)</b>
FASE C	67710.381	34.012
FASE B	67529.123	34.822
FASE A	67131.805	33.934
<b>POTENCIAS</b>		
<b>Potencia Activa</b>	<b>Potencia Reactiva</b>	<b>Factor de Potencia</b>
P (MW)	Q (MVAR)	fp
3.864	1.38	0.94



## ANEXO 6 TOPLOGIA DE LA RED AMBATO-HOLCIM Y MULALO-HOLCIM



### ANEXO 7 FLUJO DE POTENCIA AMBATO-HOLCIM

Nº	Nodo	Tipo	P (MW)	Q (Mvar)	I (kA)	Cargab. %	Pérd. P MW	Pérd. Q Mvar
1	Ambato	Línea	15.098	6.226	0.137	11.68	0.0304	0.0707
2	Drv. San Juan	Línea	0.001	0	0	0	0.0007	-0.0003
3	Drv. San Juan	Línea	4.154	1.728	0.038	3.23	0.0003	-0.0001
4	Fairis	Carga	3	2	0.03			
5	Fairis	Línea	12.068	4.155	0.107	9.16	0.011	0.0246
6	Llegada S/E	Trafo 2 Dev.	4.154	1.728	0.038	0	0.0138	0.2103
7	Salcedo	Carga	7.9	2.4	0.069			
8	Salcedo	Línea	4.157	1.731	0.038	3.24	0.0019	0.0027
9	Salida S/E	Tranfo 2 Dev.	-4.14	-1.518	0.628	0	0.0138	0.2103
10	Salida S/E	Carga	4.14	1.518	0.628			
11	San Rafael 1	Línea	0	0	0	0	0	0

### ANEXO 8 FLUJO DE POTENCIA MULALO-HOLCIM

Nº	Nodo	Tipo	P (MW)	Q (Mvar)	I (kA)	Cargab. %	Pérd. P (MW)	Pérd. Q (Mvar)
1	Drv. Laigua	Línea	25.321	9.314	0.226	21.26	0.0539	0.1634
2	Drv. Laigua	Carga	6.45	2.34	0.058			
3	Drv. San Juan	Línea	10.911	4.422	0.099	8.48	0.0093	0.0202
4	Drv. San Juan	Línea	4.154	1.729	0.038	3.24	0.0003	-0.0001
5	Llegada S/E	Trafo 2 Dev.	4.154	1.729	0.038	0	0.0138	0.211
6	Mulaló	Línea	31.819	11.802	0.284	26.66	0.0489	0.1478
7	Mulaló	Línea	10.436	3.163	0.091	8.57	0.0041	0.0104
8	Salcedo	Carga	7.9	2.4	0.07			
9	Salcedo	Línea	3.002	2.001	0.03	2.6	0.0015	0.0017
10	Salida s/e	Trafo 2 Dev.	-4.14	-1.518	0.629	0	0.0138	0.211
11	Salida s/e	Carga	4.14	1.518	0.629			
12	San Rafael 1	Línea	15.067	6.151	0.137	11.72	0.0011	0.0005
13	San Rafael 2	Línea	15.067	6.151	0.137	11.72	0	0
14	San Rafael 2	Carg Pujili	1.7	0.5	0.015			
15	San Rafael 2	Carga S.R	8.5	2.5	0.075			

### ANEXO 9 RESULTADOS DE CORTOCIRCUITO 3Ø

<b>Estudio de cortocircuito del alimentador Ambato-Latacunga</b>								
<b>Ubicación de Falla</b>	<b>Ik'' (kA)</b>	<b>ip (kA)</b>	<b>Ib (kA)</b>	<b>Ik (kA)</b>	<b>Idc (kA)</b>	<b>Ib asi (kA)</b>	<b>Sec'' MVA</b>	
1	Ambato	4,063	10,455	4,063	4,063	3,445	5,327	485,575
2	Fairis	3,624	8,894	3,624	3,624	2,324	4,305	433,067
3	Salcedo	3,412	8,194	3,412	3,412	1,914	3,912	407,732
4	Drv. San Juan	3,229	7,616	3,229	3,229	1,613	3,609	385,87
5	Llegada S/E	3,227	7,61	3,227	3,227	1,611	3,607	385,652
6	San Rafael 1	3,225	7,605	3,225	3,225	1,608	3,604	385,446

<b>Estudio de cortocircuito del alimentador Mulaló-Latacunga</b>								
<b>Ubicación de Falla</b>	<b>Ik'' (kA)</b>	<b>ip (kA)</b>	<b>Ib (kA)</b>	<b>Ik (kA)</b>	<b>Idc (kA)</b>	<b>Ib asi (kA)</b>	<b>Sec'' MVA</b>	
1	Mulaló	4.406	10.629	4.406	4.406	2.54	5.086	526.568
2	Drv. Laigua	4.143	9.851	4.143	4.143	2.181	4.682	495.109
3	San Rafael 1	3.752	8.738	3.752	3.752	1.725	4.13	448.4
5	Drv. San Juan	3.747	8.723	3.747	3.747	1.719	4.123	447.825
6	Llegada S/E	3.745	8.716	3.745	3.745	1.715	4.119	447.53
7	Salcedo	3.526	8.069	3.526	3.526	1.441	3.809	421.423
8	Fairis	3.322	7.486	3.322	3.322	1.221	3.539	397.057

### ANEXO 10 RESULTADOS DE CORTOCIRCUITO 1Ø

<b>Análisis de cortocircuito del alimentador Ambato-Latacunga</b>								
<b>Ubicación de Falla</b>	<b>Ik'' (kA)</b>	<b>ip (kA)</b>	<b>Ib (kA)</b>	<b>Ik (kA)</b>	<b>Idc (kA)</b>	<b>Ib asi (kA)</b>	<b>Sec'' MVA</b>	
1	Ambato	4,637	11,933	4,637	4,637	3,932	6,08	184,736
2	Fairis	3,741	9,182	3,741	3,741	2,4	4,445	149,04
3	Salcedo	3,367	8,087	3,367	3,367	1,889	3,861	134,135
4	Drv. San Juan	3,07	7,241	3,07	3,07	1,534	3,432	122,298
5	Llegada S/E	3,067	7,233	3,067	3,067	1,531	3,428	122,184

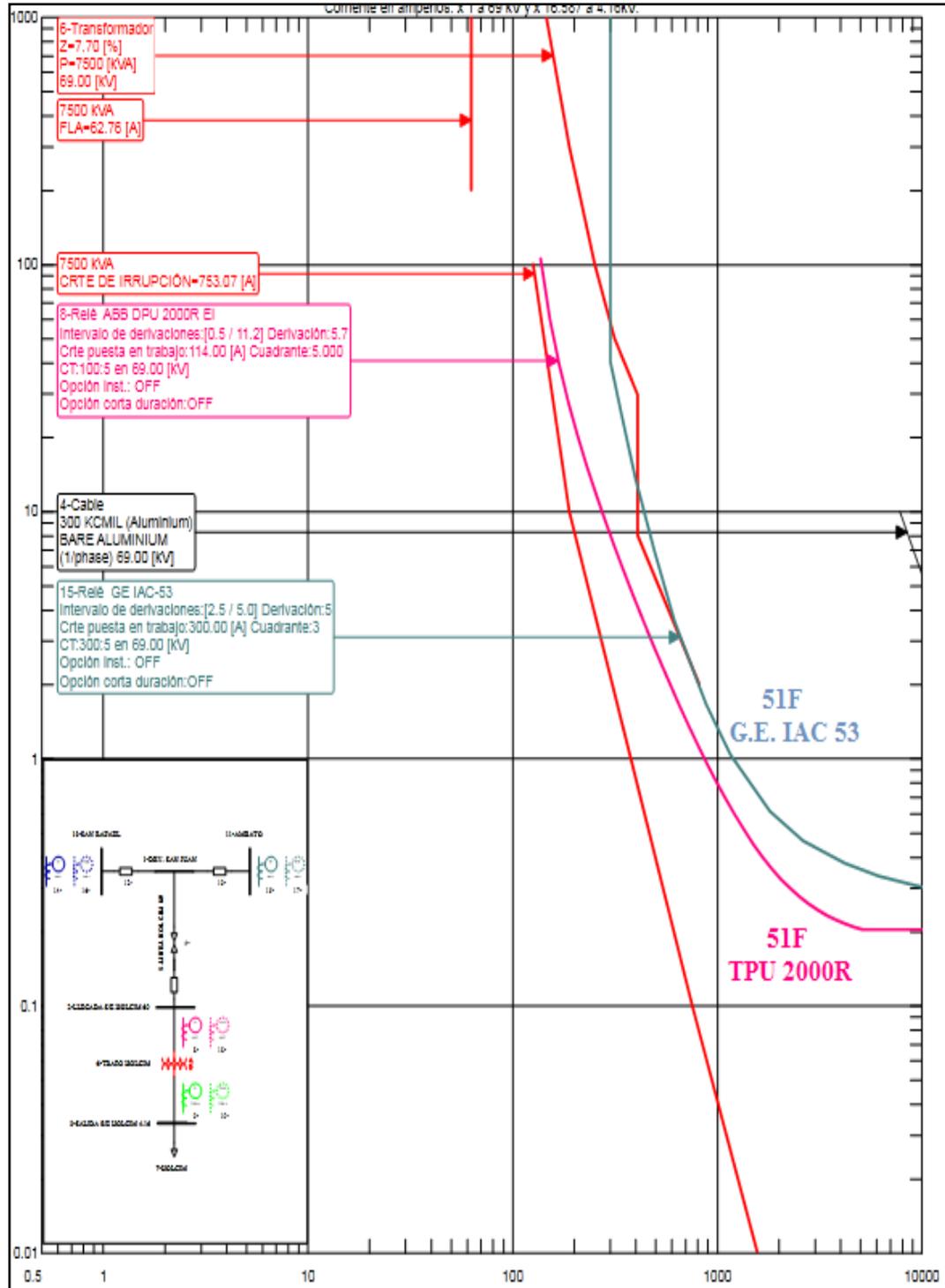
  

<b>Análisis de cortocircuito del alimentador Mulaló-Latacunga</b>								
<b>Ubicación de Falla</b>	<b>Ik'' (kA)</b>	<b>ip (kA)</b>	<b>Ib (kA)</b>	<b>Ik (kA)</b>	<b>Idc (kA)</b>	<b>Ib asi (kA)</b>	<b>Sec'' MVA</b>	
1	Mulaló	4.932	11.897	4.932	4.932	2.843	5.693	196.46
2	Drv. Laigua	4.699	11.174	4.699	4.699	2.474	5.311	187.206
3	San Rafael 1	4.047	9.426	4.047	4.047	1.861	4.455	161.241
5	Drv. San Juan	4.038	9.4	4.038	4.038	1.852	4.442	160.856
6	Llegada S/E	4.033	9.387	4.033	4.033	1.847	4.436	160.66
7	Salcedo	3.616	8.275	3.616	3.616	1.478	3.907	144.058

**ANEXO 11 AJUSTES ORIGINALES DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION DE FASE**

<b>AJUSTES ALIMENTADOR AMBATO-LATACUNGA</b>									
<b>NIVEL DE TENSION (kV)</b>	<b>PROTECCION</b>	<b>DESIGNACION</b>	<b>RELE DE SOBRECORRIENTE</b>		<b>RCT</b>		<b>AJUSTES</b>		<b>Tipo de Curva</b>
			<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>			<b>TAP (A)</b>	<b>DIAL</b>	
69	FASE	51 F	GE	IAC 53 B	300	5	5	3	muy inversa
<b>AJUSTES SUBESTACION SAN RAFAEL</b>									
<b>NIVEL DE TENSION (kV)</b>	<b>PROTECCION</b>	<b>DESIGNACION</b>	<b>RELE DE SOBRECORRIENTE</b>		<b>RCT</b>		<b>AJUSTES</b>		<b>Tipo de Curva</b>
			<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>			<b>TAP (A)</b>	<b>DIAL</b>	
69	FASE	51 F	GE	F650	300	5	2.92	3	IAC muy inversa
<b>AJUSTES EMPRESA HOLCIM-PLANTA LATACUNGA</b>									
<b>NIVEL DE TENSION (kV)</b>	<b>PROTECCION</b>	<b>DESIGNACION</b>	<b>RELE DE SOBRECORRIENTE</b>		<b>RCT</b>		<b>AJUSTES</b>		<b>Tipo de Curva</b>
			<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>			<b>TAP (A)</b>	<b>DIAL</b>	
69	FASE	51P-1	ABB	TPU 2000 R	100	5	5.7	5	Extreme Inv

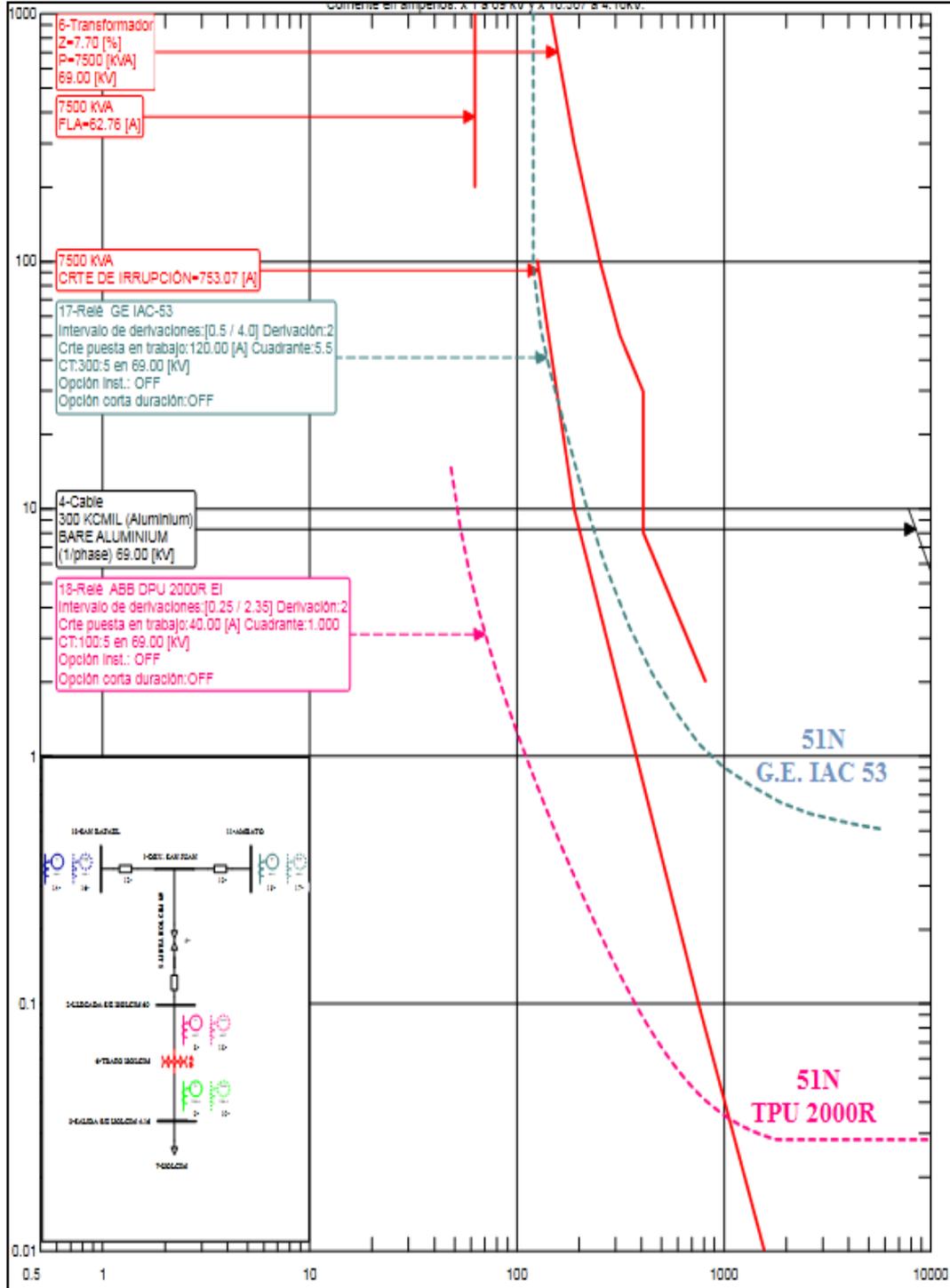
## ANEXO 12 CURVAS DE AJUSTES ORIGINALES DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION DE FASE



**ANEXO 13 AJUSTES ORIGINALES DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION DE FALLA A TIERRA**

<b>AJUSTES ALIMENTADOR AMBATO-LATACUNGA</b>									
<b>NIVEL DE TENSION (kV)</b>	<b>PROTECCION</b>	<b>DESIGNACION</b>	<b>RELE DE SOBRECORRIENTE</b>		<b>RCT</b>		<b>AJUSTES</b>		<b>Tipo de Curva</b>
			<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>			<b>TAP (A)</b>	<b>DIAL</b>	
69	NEUTRO	51 N	GE	IAC 53 B	300	5	2	5.5	muy inversa
<b>AJUSTES SUBESTACION SAN RAFAEL</b>									
<b>NIVEL DE TENSION (kV)</b>	<b>PROTECCION</b>	<b>DESIGNACION</b>	<b>RELE DE SOBRECORRIENTE</b>		<b>RCT</b>		<b>AJUSTES</b>		<b>Tipo de Curva</b>
			<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>			<b>TAP (A)</b>	<b>DIAL</b>	
69	NEUTRO	51 N	GE	F650	300	5	0.83	2	IAC muy inversa
<b>AJUSTES EMPRESA HOLCIM-PLANTA LATACUNGA</b>									
<b>NIVEL DE TENSION (kV)</b>	<b>PROTECCION</b>	<b>DESIGNACION</b>	<b>RELE DE SOBRECORRIENTE</b>		<b>RCT</b>		<b>AJUSTES</b>		<b>Tipo de Curva</b>
			<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>			<b>TAP (A)</b>	<b>DIAL</b>	
69	NEUTRO	51N-1	ABB	TPU 2000 R	100	5	2	1	Extreme Inv

## ANEXO 14 CURVAS DE AJUSTES ORIGINALES DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION DE FALLA A TIERRA



**ANEXO 15 REAJUSTE DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION DE FASE**

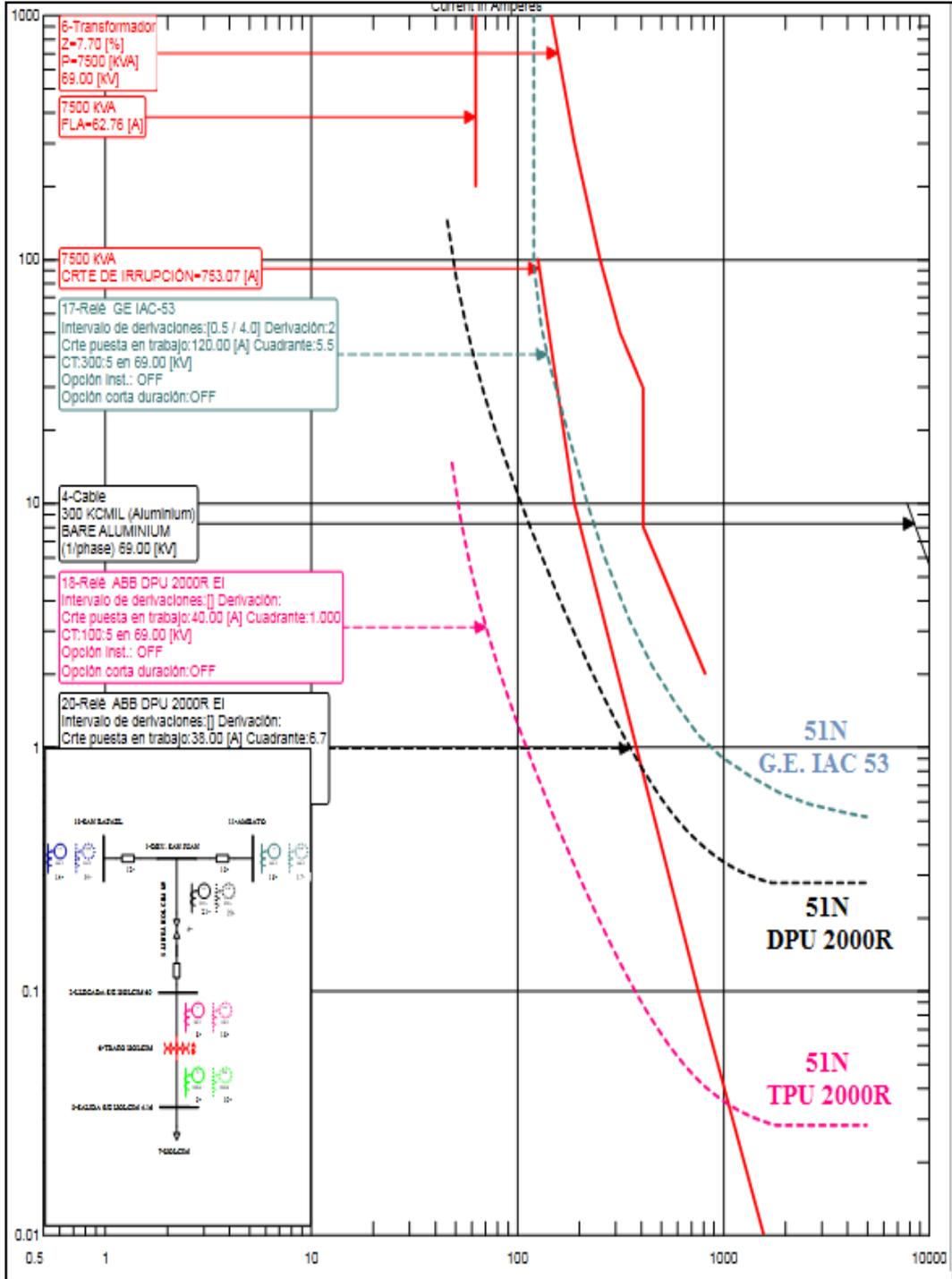
<b>AJUSTES ALIMENTADOR AMBATO-LATACUNGA</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	FASE	51 F	GE	IAC 53 B	300	5	5	3	muy inversa
<b>AJUSTES SUBESTACION SAN RAFAEL</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	FASE	51 F	GE	F650	300	5	5	3	IAC muy inversa
<b>AJUSTES EMPRESA HOLCIM-PLANTA LATACUNGA</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	FASE	51P-1	ABB	TPU 2000 R	100	5	6.75	1.5	Extreme Inv
<b>S/E DE ARRANQUE PROTECCION DPU PROPUESTO</b>									
NIVEL DE TENSION (kV)	PROTECCION	DESIGNACION	RELE DE SOBRECORRIENTE		RCT		AJUSTES		Tipo de Curva
			Fabricante	Modelo			TAP (A)	DIAL	
69	FASE	51P-1	ABB	DPU 2000 R	300	5	2.25	3.72	Extreme Inv



**ANEXO 17 REAJUSTES DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION DE FALLA A TIERRA**

<b>AJUSTES ALIMENTADOR AMBATO-LATACUNGA</b>									
<b>NIVEL DE TENSION (kV)</b>	<b>PROTECCION</b>	<b>DESIGNACION</b>	<b>RELE DE SOBRECORRIENTE</b>		<b>RCT</b>		<b>AJUSTES</b>		<b>Tipo de Curva</b>
			<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>			<b>TAP (A)</b>	<b>DIAL</b>	
69	NEUTRO	51 N	GE	IAC 53 B	300	5	2	5.5	muy inversa
<b>AJUSTES SUBESTACION SAN RAFAEL</b>									
<b>NIVEL DE TENSION (kV)</b>	<b>PROTECCION</b>	<b>DESIGNACION</b>	<b>RELE DE SOBRECORRIENTE</b>		<b>RCT</b>		<b>AJUSTES</b>		<b>Tipo de Curva</b>
			<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>			<b>TAP (A)</b>	<b>DIAL</b>	
69	NEUTRO	51 N	GE	F650	300	5	2.666	3.5	IAC muy inversa
<b>AJUSTES EMPRESA HOLCIM-PLANTA LATACUNGA</b>									
<b>NIVEL DE TENSION (kV)</b>	<b>PROTECCION</b>	<b>DESIGNACION</b>	<b>RELE DE SOBRECORRIENTE</b>		<b>RCT</b>		<b>AJUSTES</b>		<b>Tipo de Curva</b>
			<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>			<b>TAP (A)</b>	<b>DIAL</b>	
69	NEUTRO	51N-1	ABB	TPU 2000 R	100	5	2	1	Extreme Inv
<b>S/E DE ARRANQUE PROTECCION DPU PROPUESTO</b>									
<b>NIVEL DE TENSION (kV)</b>	<b>PROTECCION</b>	<b>DESIGNACION</b>	<b>RELE DE SOBRECORRIENTE</b>		<b>RCT</b>		<b>AJUSTES</b>		<b>Tipo de Curva</b>
			<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>			<b>TAP (A)</b>	<b>DIAL</b>	
69	NEUTRO	51N-1	ABB	DPU 2000 R	300	5	0.63	6.7	Extreme Inv

## ANEXO 18 CURVAS DE REAJUSTES DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION DE FALLA A TIERRA



## ANEXO 19 SUBESTACION DE ARRANQUE HOLCIM



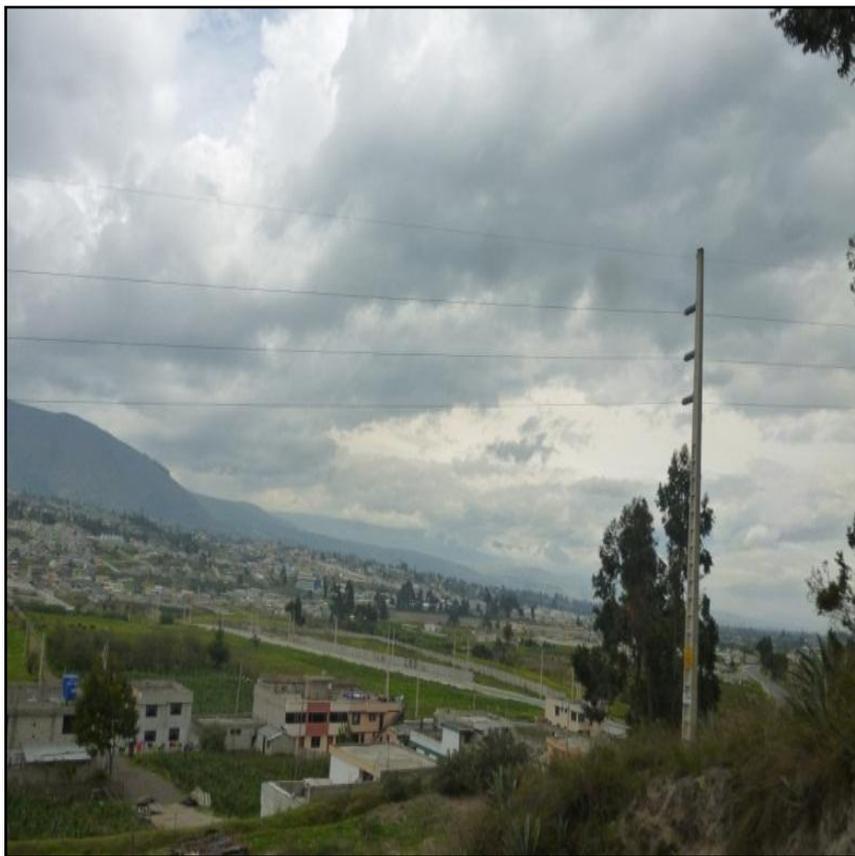
**ANEXO 20 SUBESTACION PRINCIPAL HOLCIM**



**ANEXO 21 LINEAS DE 69 KV SOBRE LA CIUDADELA VALLE HERMOSO**



**ANEXO 22 LINEAS DE SUBTRANMISION DE 69 KV HOLCIM**



**ANEXO 23 EMPRESA HOLCIM S.A.-PLANTA LATACUNGA**

