



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL

## **CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

### **PROYECTO DE TITULACIÓN**

Previa la Obtención del Título de:

### **INGENIERO ELÉCTRICO**

#### **TEMA:**

ANÁLISIS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN  
REDES DE SUBTRANSMISIÓN QUE CUMPLEN CON LA  
REGULACIÓN 04/2015 DE ARCONEL

#### **AUTORES:**

MILTON VICENTE JÁCOME SALGADO

CINTHIA MARÍA VÁSQUEZ GUILLÉN

#### **DIRECTOR:**

ING. DAVID HUMBERTO CÁRDENAS VILLACRÉS

GUAYAQUIL

2018

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Vásquez Guillén Cinthia María y Jácome Salgado Milton Vicente autorizamos a la **Universidad Politécnica Salesiana** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaramos los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, Octubre de 2018

---

Autor: Milton Jácome

CI: 0925836314

---

Autor: Cinthia Vásquez

CI: 0923178164

**CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DE  
TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERISIDAD  
POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **MILTON VICENTE JÁCOME SALGADO** con documento de identificación N°0925836314 y **CINTHIA MARÍA VÁSQUEZ GUILLÉN**, con documento de identificación N° 0923178164, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado titulado “**ANÁLISIS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN REDES DE SUBTRANSMISIÓN QUE CUMPLEN CON LA REGULACIÓN 04/2015 DE ARCONEL**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la institución facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la ley de propiedad intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento de que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, Octubre 2018

---

Autor: Milton Jácome

CI: 0925836314

---

Autor: Cinthia Vásquez

CI: 0923178164

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR**

Yo, **DAVID HUMBERTO CARDENAS VILLACRÉS**, Director del proyecto de titulación denominado “ANÁLISIS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN REDES DE SUBTRANSMISIÓN QUE CUMPLEN CON LA REGULACIÓN 04/2015 DE ARCONEL” realizado por los estudiantes **JÁCOME SALGADO MILTON VICENTE** y **VÁSQUEZ GUILLÉN CINTHIA MARÍA** certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, Octubre del 2018

---

David Humberto Cárdenas Villacrés.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, porque siempre han sido incondicionales y nunca me han negado su ayuda, son un gran ejemplo para mí y estoy eternamente agradecida por el apoyo y por el amor que me brindan día a día, porque son ellos quienes se alegran por mis logros, quienes celebran conmigo mis triunfos y quienes me aman y me amaran por siempre.

Gracias papá y mamá sin ustedes no sería posible, gracias por tanto y perdón por tan poco.

Al Ing. Ervin Solano por compartir sus conocimientos y por estar presto siempre a recibirnos para corregirnos y guiarnos de una mejor manera y así poder terminar este proyecto de titulación.

A mi eterno novio por la paciencia y por motivarme siempre a seguir cuando quería bajar los brazos, gracias por apoyarme siempre.

Cinthia Vásquez Guillen.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por la capacidad que puso en mí para culminar este proyecto.

De manera especial y sincera agradezco también a mi profesor el Ing. Ervin Solano y al Ing. Carlos Carreño, por direccionarme en mi proyecto, guiarme y facilitarme los medios suficientes para la investigación y desarrollo del mismo.

Agradeciendo también a mi madre, padre, hermanas y novia por su constante interés y apoyo para culminar mi carrera universitaria.

Milton Vicente Jácome Salgado.

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de tesis a Dios por ser quien me ha dado las fuerzas para continuar aún cuando el camino se ponía difícil.

Se lo dedico a mis padres el Ab. Liderson Vásquez y la Lic. Mercy Guillén quienes han sido el motor de mi vida, me han apoyado incondicionalmente en cada una de las metas que me he propuesto y es por lo que hoy en día soy la calidad de persona que soy.

A mi pequeño Sebastián que fue una motivación extra, por el cual me esfuerzo y me seguiré esforzando por ser un gran ejemplo para el como lo han sido mis padres conmigo.

A mi ángel que desde el cielo me cuida y me guía, no pudo estar conmigo celebrando este título, pero estoy segura de que desde allá arriba está tan contenta como lo estoy yo.

A mi incondicional Héctor Andrés quien estuvo conmigo desde el inicio de mi carrera y con la bendición de Dios hoy en día nos mantenemos juntos luchando y perseverando por alcanzar nuestras metas trazadas.

Cinthia Vásquez Guillén.

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de tesis a Dios, a mis padres y a mi novia.

A Dios por acompañarme en cada paso de mi vida, por llenarme de fortalezas y sabiduría en todo momento, por poner a las personas indicadas en mi camino que me han servido de mucha ayuda en mi etapa universitaria.

A mi madre María Elena Salgado y a mi padre Milton Jácome por apoyarme en mis estudios, por ser mi motivación en mi carrera profesional, por sus sabios consejos y por estar presente en los momentos más importantes de mi vida.

A mi amada novia Paulette Cubillo por ser mi motivación para poder culminar mis estudios, ser mi apoyo incondicional en todo momento y ayudarme a superar todos los obstáculos de la vida.

Milton Vicente Jácome Salgado.



## **RESUMEN**

En el presente trabajo de titulación se ha realizado el análisis de la coordinación de protecciones de la Subestación de transmisión Dos Cerritos ubicada en el cantón Durán Provincia del Guayas, con las subestaciones aledañas que están alimentadas respectivamente por las líneas L3 y L4.

Se ha realizado el análisis en el programa ETAP, que es una herramienta computacional que permite realizar simulaciones en tiempo real y obtener los datos necesarios para realizar los análisis requeridos.

Se efectuó el análisis de flujo de potencia tanto, en demanda máxima y en demanda mínima donde se pudo comprobar que según la regulación de ARCONEL 04/2015, la caída de tensión al final del ramal cumple con lo descrito en dicha regulación, el análisis de cortocircuito nos proporcionó las corrientes de falla trifásica, línea a línea, línea-línea-tierra, línea a tierra con las cuales se pudo realizar los ajustes de coordinación de protecciones.

Con base a estos resultados obtenidos se ha procedido a realizar la coordinación de protecciones y se analizaron los tiempos de coordinación que deben estar entre 200 y 300 ms según la norma IEC 242-2001.

Palabras claves: Coordinación, ETAP, ARCONEL

## **ABSTRACT**

The paper at hand is develops the analysis of the coordination of protections of the sub-station Dos Cerritos, with the adjacent substations connected respectively by the lines L3 and L4.

The analysis was made on the program ETAP which is a software tool that allows to run simulation in real time and obtain necessary data in order to run the required analysis.

The analysis of power flow was done in both, at maximum and minimum demand, where it was proved that according to the regulation ARCONEL 04/2015, the fall of tension at the end of the branch fulfills with what is described in the mentioned regulation, the analysis of short circuit provided the fault currents of the three-phase, line to line, line-line-ground, line- to ground, with which the adjustments of coordination of protections were able to be done.

Based on the obtained data, the coordination of protections was done and analyzed in the times of coordination which must be between 200 and 300 ms according to the IEC 242-2001 norm.

## INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es la base principal de desarrollo de un país, enfocando todos los esfuerzos a mantener un sistema eléctrico estable, sin interrupciones y de calidad, al final del proceso se observará la satisfacción del servicio brindado con la opinión de los consumidores. [1]

La coordinación de protecciones es la ciencia, la destreza y el arte de aplicar relés o fusibles, o ambos, para proporcionar la máxima sensibilidad ante fallas y condiciones no deseables, garantizando así la continuidad del servicio y la protección de los equipos que tienen un costo elevado de inversión. Con la finalidad de brindar un buen servicio y velar por la seguridad de los equipos, como de las personas que están expuestas. [2]

La necesidad de obtener un sistema de protecciones confiable en las subestaciones radiales ha llevado a realizar un estudio de coordinación óptima aplicando la regulación 04/2015 de Arconel, esto permitirá realizar las respectivas comparaciones entre los sistemas de protecciones utilizados actualmente con los anteriores, y de esta manera citar mejoras para dichas subestaciones y las que sean instaladas a futuro.

Entre los procedimientos a realizar para el análisis de coordinación de protecciones está el análisis de flujo de carga y el análisis de cortocircuito, estos parámetros nos permitirán obtener la información necesaria para poder realizar la coordinación de protecciones de las subestaciones alimentadas por las líneas de subtransmisión L3 y L4 ubicadas en el cantón Durán Provincia del Guayas.

La herramienta computacional que permitirá realizar las simulaciones en tiempo real, evitando así los cálculos manuales y brindando resultados más confiables y seguros, es el programa ETAP. [3]

En el capítulo 1, se describe el problema, la limitación y la justificación del trabajo de titulación.

En el capítulo 2, se describen los conceptos fundamentales que se deben tomar en cuenta para el análisis de coordinación de protecciones en redes de subtransmisión radiales.

En el capítulo 3, se describen las especificaciones técnicas de las líneas L3 y L4 y de los equipos que pertenecen a la subestación Dos Cerritos ubicada en el cantón Duran.

En el capítulo 4, se realizará el estudio de flujo de carga y cortocircuito y se mostraran los resultados obtenidos.

En el capítulo 5, se realizarán los ajustes de los equipos de protección, y la coordinación en fase y neutro de la subestación alimentadas por las líneas de subtransmisión L3 y L4 respectivamente.

En el capítulo 6, se realizarán las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de titulación.

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERISIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....</b>	<b>vii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>x</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>xi</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 ALCANCE.....</b>	<b>1</b>
<b>1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
<b>1.4 JUSTIFICACION .....</b>	<b>2</b>
<b>1.5 DELIMITACION .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 CONCEPTOS GENERALES DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 SUBESTACIONES ELÉCTRICAS .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 DIAGRAMA UNIFILAR.....</b>	<b>4</b>
<b>2.4 DEMANDA MÁXIMA Y DEMANDA MÍNIMA EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>2.5 FLUJO DE CARGA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.6 ANÁLISIS DE FALLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>2.6.1 TIPOS DE FALLAS DE CORTOCIRCUITO.....</b>	<b>6</b>
<b>2.7.1 TIPOS DE FALLAS .....</b>	<b>8</b>
<b>2.7.1.1 FALLA TRIFÁSICA. - Es la unión de las tres fases, este tipo de falla se debe tener en cuenta para el análisis en el programa Etap, aunque no es muy común.....</b>	<b>8</b>

<b>2.7.1.2 FALLA FASE A TIERRA.</b> - Es muy común en los sistemas de transmisión, pueden llegar a considerar corrientes elevadas que superarían a las corrientes de una falla trifásica. ....	8
<b>2.7.1.3 FALLA BIFÁSICA A TIERRA.</b> – Este tipo de falla no presenta valores máximos de corrientes no es necesariamente requerida ya que se considera que es un 87% de la corriente trifásica.....	8
<b>2.7.1.4 FALLA LÍNEA A LÍNEA.</b> – En este tipo de falla no interfiere la tierra es decir solo fallan las fases b y c.....	8
<b>2.8 ESTUDIOS DE CARGA Y CORTOCIRCUITO EN ETAP</b> .....	8
<b>2.9. COORDINACION DE PROTECCIONES</b> .....	9
<b>2.9.1 PROTECCIÓN PRIMARIA</b> .....	9
<b>2.9.2. PROTECCIÓN DE RESPALDO</b> .....	9
<b>2.9.3 PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE</b> .....	10
<b>2.9.4. PROTECCIÓN INSTANTÁNEA</b> .....	10
<b>2.9.5. PROTECCIÓN DE TIEMPO DEFINIDO</b> .....	10
<b>2.9.6. PROTECCIÓN DE TIEMPO INVERSO</b> .....	10
<b>LAS PROTECCIONES MÁS UTILIZADAS EN UN SISTEMA RADIAL SON:</b> .....	11
<b>2.11. ARCONEL: Agencia de Regulación y Control de Electricidad</b> .....	12
<b>3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES</b> .....	13
<b>3.2 INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA</b> .....	14
<b>3.2.1 LINEA DE SUBTRANSMISIÓN</b> .....	14
<b>3.2.2 SECCIONADORES MANUALES Y MOTORIZADOS A 69 KV.</b> .....	15
<b>3.2.3 SECCIONADOR TRIPOLAR DE ENTRADA</b> .....	16
<b>3.2.4 INTERRUPTOR A GAS EN SF6 A NIVEL DE 69 KV</b> .....	18
<b>3.2.5 SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN DE REDUCCIÓN</b> .....	23
<b>3.2.7 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y VOLTAJE</b> .....	27
<b>3.2.8 RELÉS DE PROTECCIÓN</b> .....	30
<b>CAPITULO IV</b> .....	32
<b>4.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	32
<b>4.2. Demanda máxima y mínima de las posiciones L3 y L4</b> .....	33

<b>4.3 RESULTADOS DEL FLUJO DE CARGA A 69 KV .....</b>	<b>34</b>
<b>4.3. DATOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN .....</b>	<b>59</b>
<b>4.3.1. NIVELES DE CORTOCIRCUITO DE IMPEDANCIAS EQUIVALENTES EN LAS BARRAS DE LOS PUNTOS DE ENTREGA. ....</b>	<b>59</b>
<b>4.3.1.1. CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO E IMPEDANCIAS EQUIVALENTES EN LA POSICIÓN L3 .....</b>	<b>59</b>
<b>4.3.1.2. CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO E IMPEDANCIAS EQUIVALENTES EN LA POSICIÓN L4 .....</b>	<b>60</b>
TABLA 16 MVA CC DE LA POSICIÓN L4 PARA FALLA TRIFASICA .....	60
<b>4.3.3. IMPEDANCIA DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA ENERGIZADOS DE LAS POSICIONES L3 Y L4 .....</b>	<b>62</b>
<b>4.4. RESULTADOS DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO .....</b>	<b>63</b>
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>66</b>
<b>5.1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>66</b>
<b>5.2. CALCULO DE LA CORRIENTE NOMINAL DE TRANSFORMADOR DE POTENCIA .....</b>	<b>66</b>
<b>5.4. CALCULO DE LA CORRIENTE DE PICKUP DE NEUTRO DE LOS RELÉS DE PROTECCIÓN.....</b>	<b>71</b>
<b>5.6. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN FASE DE LA LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN L3. ....</b>	<b>75</b>
<b>5.6.1. COORDINACIÓN DE FASE ENTRE LA S/E DURÁN NORTE Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC.....</b>	<b>75</b>
<b>5.6.2. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E SHOPPING DE DURÁN Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC .....</b>	<b>78</b>
<b>5.6.3. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E PLASTIEMPAQUES Y LA S/E DOS CERRITOS .....</b>	<b>81</b>
<b>5.6.4. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E POLIGRÁFICA Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC.....</b>	<b>84</b>
<b>5.6.5. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E DURÁN SUR PATIO A Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC .....</b>	<b>87</b>
<b>5.6.6. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E OMARSA Y LA S/E DURÁN SUR.....</b>	<b>93</b>

<b>5.7. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN NEUTRO DE LA LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN L3.....</b>	<b>96</b>
<b>5.7.1. COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E DURÁN NORTE Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC .....</b>	<b>96</b>
<b>5.7.2. COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E SHOPPING DE DURÁN Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC.....</b>	<b>98</b>
<b>5.7.3. COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E PLASTIEMPAQUES Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC.....</b>	<b>100</b>
<b>5.7.4. COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E POLIGRÁFICA Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC.....</b>	<b>102</b>
<b>5.7.5. COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E DURÁN SUR PATIO A Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC. ....</b>	<b>104</b>
<b>5.7.6. COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E DURÁN SUR PATIO B Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC.....</b>	<b>106</b>
<b>5.7.7. COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E OMARSA Y LA S/E DURÁN SUR .....</b>	<b>108</b>
<b>5.8. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN FASE DE LA LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN L4. ....</b>	<b>110</b>
<b>5.8.1. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E EI RECREO Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC.....</b>	<b>110</b>
<b>5.8.2. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E ALIMENTSA Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC.....</b>	<b>113</b>
<b>5.8.3. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E SURPAPEL Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC.....</b>	<b>116</b>
<b>5.9. Coordinación de Protecciones Eléctricas en Neutro de la Línea de Subtransmisión L4.....</b>	<b>119</b>
<b>5.9.1. Coordinación de Neutro entre la S/E Recreo y la S/E Dos Cerritos de Transelectric .....</b>	<b>119</b>
<b>5.9.2. Coordinación de Neutro entre la S/E Recreo y la S/E Alimentosa. ....</b>	<b>121</b>
<b>5.9.3. Coordinación de Neutro entre la S/E Alimentosa y la S/E Surpapel.....</b>	<b>123</b>
<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>125</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>125</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>126</b>



<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>127</b>
--------------------------	------------

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

FIGURA 1 DELIMITACIÓN.....	3
FIGURA 2 DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBESTACIÓN .....	5
FIGURA 3 TIPOS DE FALLAS [11].....	6
FIGURA 4 FALLAS ASIMÉTRICAS [11] .....	7
FIGURA 5 GRÁFICA DE LA PROTECCIÓN DE TIEMPO DEFINIDO [13].....	10
FIGURA 6 GRÁFICA DE LA PROTECCIÓN TIEMPO INVERSO [13].....	11
FIGURA 7 SISTEMA RADIAL [15].....	11
FIGURA 8 ESQUEMA DE DERIVACIÓN .....	14
FIGURA 9 CARACTERÍSTICAS DEL CONDUCTOR HANK [16].....	15
FIGURA 10 MANUAL .....	17
FIGURA 11 INTERRUPTOR A GAS EN SF6 A NIVEL DE 69 KV .....	19
FIGURA 12 INTERRUPTORES DE LÍNEA TANQUE VIVO .....	21
FIGURA 13 CONFIGURACIÓN DE BARRA SIMPLE .....	23
FIGURA 14 CELDA METALCLAD.....	24
FIGURA 15 PATIO AEREO.....	25
FIGURA 16 TRANSFORMADOR DE POTENCIA 69/13 8KV .....	26
FIGURA 17 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE .....	28
FIGURA 18 TRANSFORMADOR DE TENSIÓN.....	29
FIGURA 19 TOPOLOGÍA DE LAS LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN L3 Y L4....	33
FIGURA 20 REGULACIÓN DE VOLTAJE 004/01 [17] .....	35
FIGURA 21 FLUJO DE CARGA .....	57
FIGURA 22 FLUJO DE CARGA EN MÍNIMA DEMANDA .....	58
FIGURA 23 EQUIPOS DE LÍNEA INSTALADOS EN LAS LST L4 .....	70
FIGURA 24 EQUIPOS DE LÍNEA INSTALADOS EN LA LST L4 .....	70
FIGURA 25 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E DURAN NORTE Y LA S/E DOS CERRITOS .....	77
FIGURA 26 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E SHOPPING DE DURAN Y LA S/E DOS CERRITOS .....	80
FIGURA 27 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E PLASTIEMPAQUES Y LA S/E DOS CERRITOS .....	83
FIGURA 28 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E POLIGRÁFICA Y LA S/E DOS CERRITOS .....	86
FIGURA 29 COORDINACIÓN EN FASE LA S/E DURAN SUR A Y LA S/E DOS CERRITOS .....	89

FIGURA 30 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E DURAN SUR B Y LA S/E DOS CERRITOS .....	92
FIGURA 31 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E OMARSA Y LA S/E DOS CERRITOS .....	95
FIGURA 32 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E DURAN NORTE Y LA S/E DOS CERRITOS .....	97
FIGURA 33 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E SHOPPING DE DURAN Y LA S/E DOS CERRITOS .....	99
FIGURA 34 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E PLASTIEMPAQUES Y LA S/E DOS CERRITOS .....	101
FIGURA 35 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E POLIGRAFICA Y LA S/E DOS CERRITOS .....	103
FIGURA 36 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E DURAN SUR A Y LA S/E DOS CERRITOS .....	105
FIGURA 37 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E DURAN SUR B Y LA S/E DOS CERRITOS .....	107
FIGURA 38 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E OMARSA Y LA S/E DOS CERRITOS .....	109
FIGURA 39 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E EL RECREO Y LA S/E DOS CERRITOS .....	112
FIGURA 40 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E ALIMENTSA Y LA S/E DOS CERRITOS .....	115
FIGURA 41 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E SURPAPEL Y LA S/E DOS CERRITOS .....	118
FIGURA 42 COORDINACIÓN NEUTRO ENTRE LA S/E EL RECREO Y LA S/E DOS CERRITOS .....	120
FIGURA 43 COORDINACIÓN NEUTRO ENTRE LA S/E EL RECREO Y LA S/E ALIMENTSA .....	122
FIGURA 44 COORDINACIÓN NEUTRO ENTRE LA S/E ALIMENTSA Y LA S/E SURPAPEL .....	124

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 DELIMITACIÓN.....	3
FIGURA 2 DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBESTACIÓN .....	5

FIGURA 3 TIPOS DE FALLAS [11].....	6
FIGURA 4 FALLAS ASIMETRICAS [11] .....	7
FIGURA 5 GRÁFICA DE LA PROTECCIÓN DE TIEMPO DEFINIDO [13].....	10
FIGURA 6 GRÁFICA DE LA PROTECCIÓN TIEMPO INVERSO [13].....	11
FIGURA 7 SISTEMA RADIAL [15].....	11
FIGURA 8 ESQUEMA DE DERIVACIÓN .....	14
FIGURA 9 CARACTERISTICAS DEL CONDUCTOR HANK [16].....	15
FIGURA 10 MANUAL .....	17
FIGURA 11 INTERRUCTOR A GAS EN SF6 A NIVEL DE 69 KV .....	19
FIGURA 12 INTERRUCTORES DE LÍNEA TANQUE VIVO .....	21
FIGURA 13 CONFIGURACIÓN DE BARRA SIMPLE .....	23
FIGURA 14 CELDA METALCLAD.....	24
FIGURA 15 PATIO AEREO.....	25
FIGURA 16 TRANSFORMADOR DE POTENCIA 69/13 8KV .....	26
FIGURA 17 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE .....	28
FIGURA 18 TRANSFORMADOR DE TENSIÓN.....	29
FIGURA 19 TOPOLOGÍA DE LAS LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN L3 Y L4....	33
FIGURA 20 REGULACIÓN DE VOLTAJE 004/01 [17] .....	35
FIGURA 21 FLUJO DE CARGA .....	57
FIGURA 22 FLUJO DE CARGA EN MÍNIMA DEMANDA .....	58
FIGURA 23 EQUIPOS DE LÍNEA INSTALADOS EN LAS LST L4 .....	70
FIGURA 24 EQUIPOS DE LÍNEA INSTALADOS EN LA LST L4 .....	70
FIGURA 25 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E DURAN NORTE Y LA S/E DOS CERRITOS .....	77
FIGURA 26 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E SHOPPING DE DURAN Y LA S/E DOS CERRITOS .....	80
FIGURA 27 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E PLASTIEMPAQUES Y LA S/E DOS CERRITOS .....	83
FIGURA 28 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E POLIGRÁFICA Y LA S/E DOS CERRITOS .....	86
FIGURA 29 COORDINACIÓN EN FASE LA S/E DURAN SUR A Y LA S/E DOS CERRITOS .....	89
FIGURA 30 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E DURAN SUR B Y LA S/E DOS CERRITOS .....	92
FIGURA 31 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E OMARSA Y LA S/E DOS CERRITOS .....	95
FIGURA 32 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E DURAN NORTE Y LA S/E DOS CERRITOS .....	97

FIGURA 33 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E SHOPPING DE DURAN Y LA S/E DOS CERRITOS .....	99
FIGURA 34 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E PLASTIEMPAQUES Y LA S/E DOS CERRITOS .....	101
FIGURA 35 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E POLIGRAFICA Y LA S/E DOS CERRITOS .....	103
FIGURA 36 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E DURAN SUR A Y LA S/E DOS CERRITOS .....	105
FIGURA 37 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E DURAN SUR B Y LA S/E DOS CERRITOS .....	107
FIGURA 38 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E OMARSA Y LA S/E DOS CERRITOS .....	109
FIGURA 39 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E EL RECREO Y LA S/E DOS CERRITOS .....	112
FIGURA 40 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E ALIMENTSA Y LA S/E DOS CERRITOS. ....	115
FIGURA 41 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E SURPAPEL Y LA S/E DOS CERRITOS .....	118
FIGURA 42 COORDINACIÓN NEUTRO ENTRE LA S/E EL RECREO Y LA S/E DOS CERRITOS .....	120
FIGURA 43 COORDINACIÓN NEUTRO ENTRE LA S/E EL RECREO Y LA S/E ALIMENTSA .....	122
FIGURA 44 COORDINACIÓN NEUTRO ENTRE LA S/E ALIMENTSA Y LA S/E SURPAPEL .....	124

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 CARACTERISTICAS TÉCNICAS - SECCIONADORES MOTORIZADOS .....	16
TABLA 2 CARACTERISTICAS TÉCNICAS - SECCIONADORES MANUALES ..	18
TABLA 3 CARACTERISTICAS GENERALES DE INTERRUCTOR TANQUE VIVO EN SF6.....	20
TABLA 4 CARACTERISTICAS DE UN INTERRUCTOR A GAS .....	22
TABLA 5 CARACTERISTICAS DEL SECCIONADOR INTERNO .....	22
TABLA 6 CARACTERISTICAS DEL MECANISMO DE OPERACIÓN.....	23
TABLA 7 POTENCIA INSTALADA.....	27
TABLA 8 CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR DEL CORRIENTE. ..	28
TABLA 9 CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.....	29
TABLA 10 RESUMEN DE LOS RELES DE PROTECCIÓN DE CNEL .....	31
TABLA 11 DEMANDAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS L3 Y L4 .....	34
TABLA 12 RESULTADO DEL FLUJO DE CARGA EN MÁXIMA DEMANDA ...	35
TABLA 13 RESULTADO DEL FLUJO DE CARGA EN MÍNIMA DEMANDA ...	36
TABLA 14 MVA CC DE LA POSICIÓN L3 PARA FALLA TRIFASICA .....	59
TABLA 15 MVA CC DE LA POSICIÓN PARA FALLA MONOFASICA.....	60
TABLA 16 MVA CC DE LA POSICIÓN L4 PARA FALLA TRIFASICA .....	60
TABLA 17 MVA CC DE LA POSICIÓN L4 PARA LA FALLA MONOFASICA ...	61
TABLA 18 CARACTERISTICAS TÉCNICAS DE CONDUCTOR 500 MCM.....	62
TABLA 19 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONDUCTOR 477 MCM.....	62
TABLA 20 IMPEDANCIAS DE CORTOCIRCUITO DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA .....	63
TABLA 21 ICC EN BARRA DE 69 KV DE LA SUBESTACIÓN SAMBOCITY ....	64
TABLA 22 ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS DE MANIOBRA .....	65
TABLA 23 CORRIENTE NOMINAL EN EL LADO DE ALTA TENSIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA .....	67
TABLA 24 CORRIENTE DE MÍNIMA OPERACIÓN A 69 KV DE CADA SUBESTACIÓN .....	69
TABLA 25 CORRIENTE DE MÍNIMA OPERACIÓN DE LOS RELES DE LÍNEA	71
TABLA 26 CORRIENTE DE MÍNIMA OPERACIÓN EN NEUTRO A 69 KV DE CADA SUBESTACIÓN.....	72
TABLA 27 CORRIENTE DE MÍNIMA OPERACIÓN EN NEUTRO DE RELES LÍNEA .....	72
TABLA 28 CORRIENTES DE FALLA MÁXIMAS EN BARRA .....	73
TABLA 29 CORRIENTES DE FALLA REFLEJADAS AL SECUNDARIO DEL TC .....	74

TABLA 30 CORRIENTES DE FALLA REFLEJADAS AL SECUNDARIO DEL TC .....	75
TABLA 31 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E DURAN NORTE .....	76
TABLA 32 RESUMEN DE AJUSTES DE LA S/E SHOPPING DE DURAN .....	78
TABLA 33 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E PLASTIEMPAQUES	81
TABLA 34 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E POLIGRÁFICA .....	84
TABLA 35 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE L S/E DURAN SUR A .....	87
TABLA 36 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E DURAN SUR B .....	90
TABLA 37 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E OMARSA.....	93
TABLA 38 RESUMEN DE AJUSTES DE NEUTRO DE LA S/E DURAN NORTE	96
TABLA 39 RESUMEN DE AJUSTES DE LA S/E SHOPPING DE DURAN .....	98
TABLA 40 RESUMEN DE AJUSTE DE NEUTRO DE LA S/E PLASTIEMPAQUES .....	100
TABLA 41 RESUMEN DE AJUSTES DE NEUTRO DE LA S/E POLIGRÁFICA	102
TABLA 42 RESUMEN DE AJUSTES DE NEUTRO DE LA S/E DURAN SUR A	104
TABLA 43 RESUMEN DE AJUSTES DE NEUTRO DE LA S/E DURAN SUR B	106
TABLA 44 RESUMEN DE AJUSTES DE NEUTRO DE LA S/E OMARSA .....	108
TABLA 45 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E EL RECREO. ....	111
TABLA 46 RESUMEN DE AJUSTES DE LA S/E ALIMENTSA.....	113
TABLA 47 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E SURPAPEL.....	116
TABLA 48 RESUMEN DE AJUSTES DE NEUTRO DE LA S/E EL RECREO.....	119
TABLA 49 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E ALIMENTSA.....	121
TABLA 50 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E SURPAPEL.....	123

## ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 CORRIENTE NOMINAL DE TRANSFORMADOR.....	67
ECUACIÓN 2 CORRIENTE PICKUP .....	68

## **CAPITULO I**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar el análisis de coordinación de protecciones en redes de subtransmisión radiales que cumplen con la regulación 04/2015 de Arconel.

#### **1.1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Analizar las limitaciones de la coordinación de protecciones con relés de sobrecorriente.
- Comparar las ventajas y desventajas de la función 50 con otras funciones de protección para sistemas radiales.
- Realizar un estudio de coordinación de protecciones de un caso real.
- Recomendar propuestas para el caso real analizado.
- Analizar los datos obtenidos del caso real.

### **1.2 ALCANCE**

Con el presente proyecto se requiere hacer un análisis de la correcta coordinación de protecciones en los sistemas de subtransmisión de la Cnel-Ep Duran, mediante la simulación de fallas comunes, se requiere constatar el correcto funcionamiento de los reconectadores y sus curvas respectivas, de los fusibles y de todos los elementos de protección existentes en la red para brindar a la ciudadanía un servicio confiable y de calidad.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las protecciones eléctricas constituyen un sistema indispensable para todo tipo de instalación eléctrica, en el caso de un sistema de protecciones en sistemas radiales de subtransmisión, que, como parte integrante del sistema de transporte

y distribución, funciona como punto de conexión o desconexión de las líneas de transporte, de las líneas de distribución, de las centrales de generación y de los transformadores elevadores y reductores. Los objetivos de las subestaciones son conseguir la máxima seguridad, flexibilidad y continuidad de servicio con los mínimos costos de inversión y operación que satisfagan los requisitos del Sistema Eléctrico y para ello, las subestaciones deben poseer sistemas de protección que les ayuden a realizar su cometido. Por esta razón se ha propuesto la realización de este proyecto que nos permitirá analizar la coordinación de protecciones de redes de subtransmisión radiales aplicando la regulación 04/2015 de Arconel. [4]

#### **1.4 JUSTIFICACION**

La necesidad de obtener un buen sistema de protecciones en las subestaciones radiales nos ha llevado a realizar un estudio de coordinación óptima que está regulado por Arconel y nos ayudara a dar mejoras a los sistemas utilizados años anteriores en subestaciones radiales, esto lo realizaremos mediante un programa llamado ETAP, que nos permitirá realizar las respectivas comparaciones entre los sistemas de protecciones utilizados actualmente con los anteriores, y de esta manera nos permitirá realizar mejoras en los sistemas de protecciones anteriores.



## 1.5 DELIMITACION

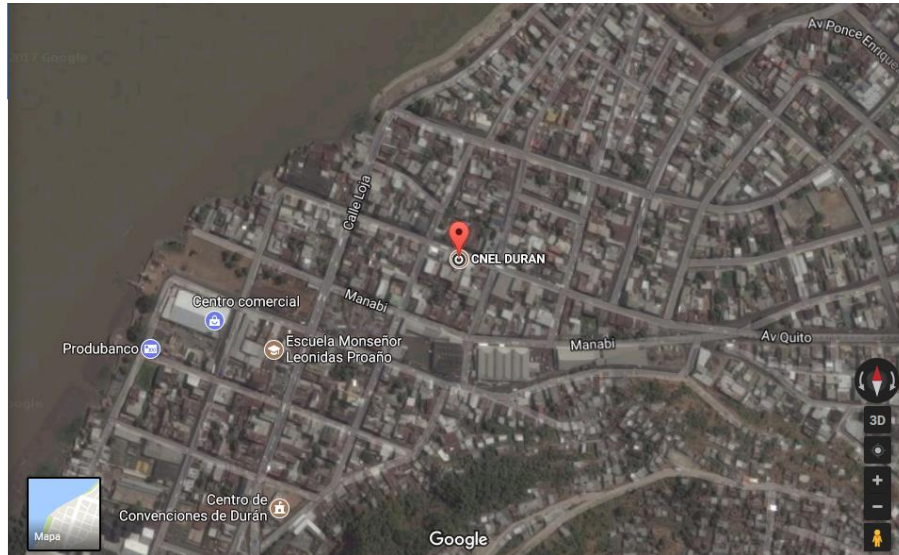


FIGURA 1 DELIMITACIÓN

Este proyecto está enfocado en el estudio de coordinación de protecciones para redes de subtransmisión radiales, se utilizará el programa Etap para realizar las respectivas simulaciones de cortocircuito y de coordinación de protecciones, El sistema radial real que se analizara está ubicado en el Cantón Duran, para lo cual se coordinará con la Corporación Nacional de Electricidad CNEI EP Regional Guayas – Los Ríos, que es la concesionaria del suministro eléctrico en este sector.

## **CAPITULO II**

### **2.1 CONCEPTOS GENERALES DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Un sistema eléctrico de potencia es el encargado de abastecer de energía eléctrica a todos los usuarios como sea posible y de manera rentable, es el que transporta la energía desde los puntos de generación hasta los de distribución respectivos. [5]

Está compuesto por 3 redes:

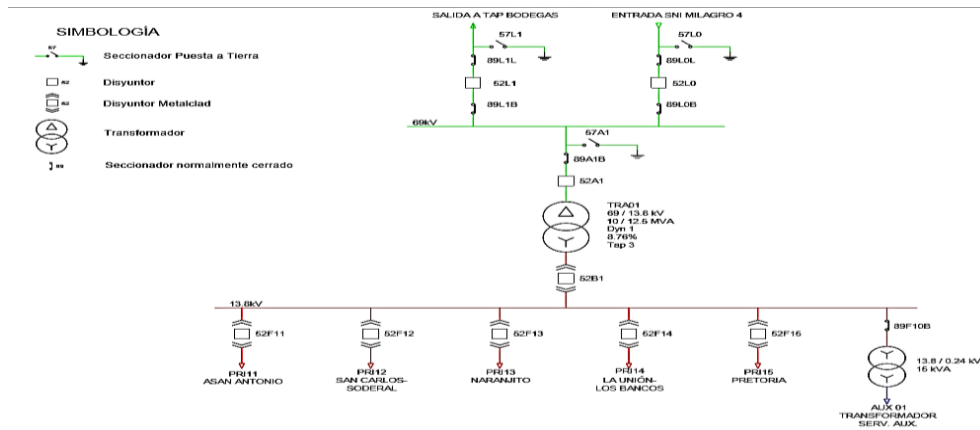
- Generación
- Transmisión
- Distribución

### **2.2 SUBESTACIONES ELÉCTRICAS**

Son los puntos destinados a la transformación de los niveles de tensión de acuerdo con las necesidades, su equipo principal es el transformador de potencia.

### **2.3 DIAGRAMA UNIFILAR**

Nos proporciona la información que necesitamos obtener en un SEP o para realizar cualquier tipo de operación, es decir es el que nos muestra de que elementos está compuesto un sistema por medio de símbolos que han sido establecidos por diferentes institutos como ANSI [6], IEEE [7] y también la IEC [8].



**FIGURA 2 DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBESTACIÓN**

## 2.4 DEMANDA MÁXIMA Y DEMANDA MÍNIMA EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN

La demanda máxima en un sistema de transmisión es la mayor potencia presentada en un periodo de tiempo, por su parte la demanda mínima es tomada de un periodo determinado la menor cantidad. [5]

## 2.5 FLUJO DE CARGA

El estudio de flujo de carga es un factor muy importante dentro de un sistema eléctrico de potencia ya que nos permite obtener la caída de tensión al final del ramal, por medio del cual podemos verificar si cumple o no cumple con la regulación establecida. [1]

Los parámetros que se analizan en el flujo de carga son Factor de Potencia (FP), Potencia activa (VA) y reactiva. (VAR)

## 2.6 ANÁLISIS DE FALLAS

El análisis de fallas permite realizar una coordinación selectiva; es decir que proporciona los datos que se desean obtener para realizar la coordinación de protecciones. [10]

El programa Etap permite realizar cortocircuitos de manera rápida y segura es decir evita hacer los cálculos manuales, y por medio del conocimiento de estas fallas se pueden ajustar los relés para su respectiva operación en el momento oportuno. [3]

Es decir que tendrá que operar la protección más cercana a la falla por que ha sido ajustada para reaccionar a ese valor determinado de corriente.

### 2.6.1 TIPOS DE FALLAS DE CORTOCIRCUITO

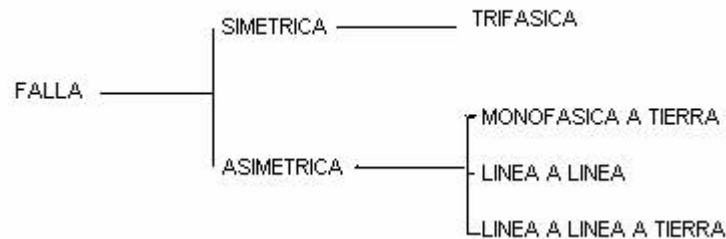


FIGURA 3 TIPOS DE FALLAS [11]

En la figura 3 se muestra los tipos de falla.

Las fallas simétricas involucran las 3 líneas es decir se presenta una falla trifásica y el sistema empieza a operar con niveles de corrientes demasiado altos

Por su parte las fallas asimétricas involucran una o dos líneas que comprometen al sistema y crean un desbalance.

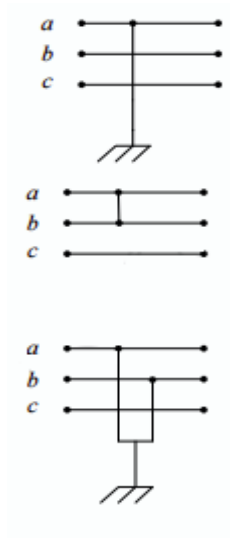


FIGURA 4 FALLAS ASIMÉTRICAS [11]

En la figura 4 podemos observar los tipos de fallas asimétricas:

1. (L T)
2. (L L)
3. (L L T).

## **2.7 ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO**

### **2.7.1 TIPOS DE FALLAS**

**2.7.1.1 FALLA TRIFÁSICA.** - Es la unión de las tres fases, este tipo de falla se debe tener en cuenta para el análisis en el programa Etap, aunque no es muy común.

**2.7.1.2 FALLA FASE A TIERRA.** - Es muy común en los sistemas de transmisión, pueden llegar a considerar corrientes elevadas que superarían a las corrientes de una falla trifásica.

**2.7.1.3 FALLA BIFÁSICA A TIERRA.** – Este tipo de falla no presenta valores máximos de corrientes no es necesariamente requerida ya que se considera que es un 87% de la corriente trifásica.

**2.7.1.4 FALLA LÍNEA A LÍNEA.** – En este tipo de falla no interfiere la tierra es decir solo fallan las fases b y c.

## **2.8 ESTUDIOS DE CARGA Y CORTOCIRCUITO EN ETAP**

Las herramientas computacionales utilizadas hoy en día permiten obtener resultados más rápidos y confiables, por esta razón se ha utilizado el programa Etap, el cual nos permitió simular un caso real donde se obtuvieron valores de flujo de carga, y corrientes de cortocircuito utilizadas más adelante para la coordinación de protecciones respetiva. [3]

El método utilizado para el cálculo de flujo de carga fue el de Newton-Raphson con 99 iteraciones, mientras que para el estudio de cortocircuito se utilizó la norma IEC 60909. [12]

## **2.9. COORDINACION DE PROTECCIONES**

La capacidad que tiene un sistema para detectar las fallas de manera inmediata y reaccionar ante las mismas es la protección que se le ofrece a un sistema eléctrico de potencia para prevenir condiciones indeseadas, es decir fallos que afecten y dejen sin servicio al sistema. [13]

La coordinación de protecciones debe estar programada para tomar decisiones correctas si se presentara una falla, debe reaccionar de manera eficiente y rápida, debe permitir si es posible que se aislé el área de perturbación como sea posible y que ocasione un mínimo de disturbios en el sistema.

La selección y ajuste de un sistema de protecciones dependerá de los siguientes factores:

- a) Sensibilidad. - Es la capacidad que tienen los dispositivos para operar con señales relativamente pequeñas. [14]
- b) Selectividad. - Es una característica que le permite al sistema que seleccione al relé más cercano al punto de falla con el objetivo de garantizar la continuidad del servicio. [14]
- c) Confiabilidad. - Es la capacidad que tiene un sistema para seguir trabajando sin interrupción alguna. [14]

### **2.9.1 PROTECCIÓN PRIMARIA**

Es la encargada de actuar cuando se presente una falla siempre y cuando está cerca del punto donde se originó la falla. [13]

### **2.9.2. PROTECCIÓN DE RESPALDO**

Esta protección actuará en caso de que la protección principal falle o se demore en actuar. [13]

### 2.9.3 PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE

Esta protección actuará solo cuando los valores de corriente sobrepasen el límite de corriente para el cual ha sido programada. [14]

### 2.9.4. PROTECCIÓN INSTANTÁNEA

Tal y como su nombre lo indica esta protección actuara de manera inmediata. [14]

### 2.9.5. PROTECCIÓN DE TIEMPO DEFINIDO

Esta protección presenta un tiempo de retraso tal y como se muestra en la figura. [13]

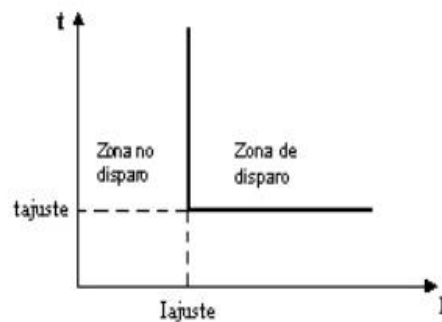


FIGURA 5 GRÁFICA DE LA PROTECCIÓN DE TIEMPO DEFINIDO [13]

### 2.9.6. PROTECCIÓN DE TIEMPO INVERSO

Esta protección tiene el tiempo de actuación en función a la corriente.





FIGURA 6 GRÁFICA DE LA PROTECCIÓN TIEMPO INVERSO  
[13]

## 2.10. PROTECCIÓN DE UN SISTEMA RADIAL

Un sistema radial es un sistema que tiene una corriente circulando en la misma dirección, este tipo de configuración es muy común en redes de distribución y redes de transmisión porque es una red muy económica. [15]

Es aquel que tiene un simple camino sin regreso sobre el cual pasa la corriente, parte desde una subestación y se distribuye por forma de “rama”. [15]

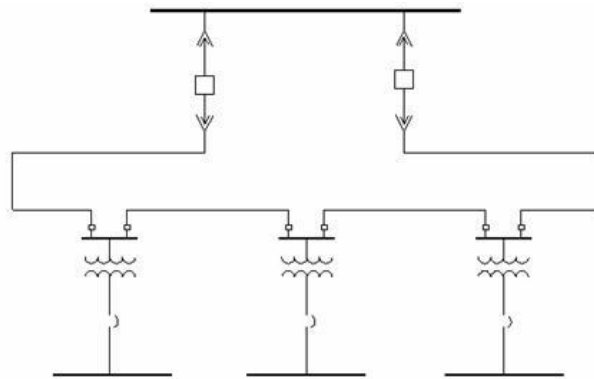


FIGURA 7 SISTEMA RADIAL [15]

Una de sus desventajas es que al momento de ocurrir una falla dejaría fuera todo el sistema ya que la corriente no tiene una posible retroalimentación.

### **LAS PROTECCIONES MÁS UTILIZADAS EN UN SISTEMA RADIAL SON:**

- Protección sobrecorriente fase (51F)
- Protección sobrecorriente neutro (51N)

- Protección instantánea fase (50F)
- Protección instantánea neutro (50N)
- Diferencial del transformador (87)
- Protección direccional (67)

La protección direccional es la que previene la apertura innecesaria del interruptor asegurando la continuidad del servicio al usuario.

### **2.11. ARCONEL: Agencia de Regulación y Control de Electricidad**

Nombre de la regulación 04/2015: Requerimientos Técnicos para la conexión y operación de generadores renovables no convencionales a las redes de transmisión y distribución. [4]

Descripción de la regulación 04/2015: Establece criterios y requisitos técnicos relacionados con la conexión de los generadores renovables no convencionales a las redes de transmisión y distribución a fin de no degradar la calidad y confiabilidad del servicio de energía eléctrica en la zona de influencia del generador. [4]

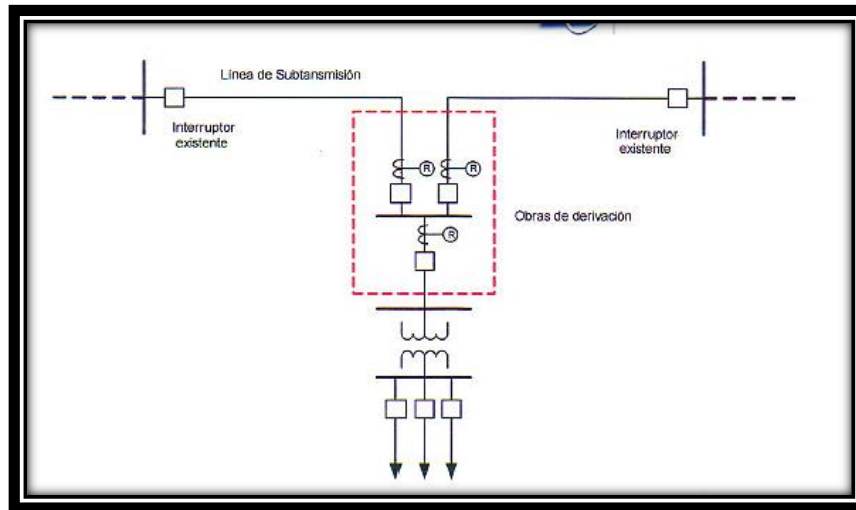
## **CAPITULO III**

### **3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES**

Actualmente todo el cantón Durán está alimentado continuamente desde la Subestación de Transmisión Dos Cerritos, por medio de dos líneas aéreas de Subtransmisión (L3 y L4), a nivel de tensión de 69 kV y de forma radial se energizan las Subestaciones de Distribución de reducción (69/13,8kV), tanto privados como de propiedad de CNEL EP.

Debido al gran crecimiento industrial en los últimos años en el cantón Durán, el transformador de potencia de 167 MVA de la S/E Dos Cerritos se encontraba sobrecargado, por lo que se instaló dentro las instalaciones de la Subestación Dos Cerritos una Subestación de reducción móvil de 45 MVA, aliviando de esta manera al transformador de potencia estacionario considerablemente al realizar la transferencia total de la posición L4 hacia el transformador móvil.

La mayoría de las Subestaciones de Distribución se encuentran conectadas a las redes de alta tensión 69 Kv de forma directa o también llamada en T, incumpliendo con la regulación vigente a la fecha de investigación 005/17 del ARCONEL, la cual indica que la distribuidora atenderá la solicitud de servicio de clientes que requieran conectarse a líneas de Subtransmisión existentes, a través de una derivación con los respectivos seccionamientos como se observa en la figura 8.



**FIGURA 8 ESQUEMA DE DERIVACIÓN**

### **3.2 INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA.**

El Sistema Eléctrico de Potencia se encuentra conformado por varios equipos e infraestructura, los cuales se detallan a continuación.

#### **3.2.1 LINEA DE SUBTRANSMISIÓN**

Hace 14 años se puso en operación las líneas de Subtransmisión L4 y L3 provenientes de la Subestación Dos Cerritos, en el primer tramo de 19,7 km salen de la bahía de 69 Kv en doble terna desde la S/E Dos Cerritos hasta la Subestación de Distribución Recreo propiedad de CNEL-EP.

El calibre de conductor de las líneas de Subtransmisión L3- L4 es Hank 477 KCMIL con cableado 26/7, en la figura 2 se muestra las características técnicas del conductor que en capítulos posteriores será de gran utilidad para desarrollar el estudio eléctrico.


Cableado Aluminio/Acero	Código	Calibre AWG/ kcmil	Diámetros (mm)					Peso Total Aprox (kg/km)			Carga de Rotura kg-f	Resistencia Eléctrica (Ohm/km)		Capacidad de Corriente	
			Hilos Individuales		Núcleo	Total	RMG	Al	Acero	Total		DC a 20°C(1)	AC a 75°C	(2)	CC(3)
			Acero	Al											
 ME: 8358 CDL: 19,0	Partridge	266,8	2,00	2,57	6,00	16,29	6,62	374,8	171,9	547	5120	0,209	0,255	458	20,3
	Ostrich	300	2,12	2,73	6,36	17,28	7,01	421,5	193,3	615	5757	0,185	0,226	493	22,8
	Linnet	336,4	2,25	2,89	6,74	18,30	7,43	472,6	216,7	689	6400	0,165	0,202	530	25,6
	Ibis	397,5	2,44	3,14	7,33	19,89	8,07	558,5	256,1	815	7386	0,140	0,171	589	30,2
	Hawk	477	2,67	3,44	8,02	21,79	8,85	670,1	307,3	977	8863	0,117	0,142	661	36,3
	Dove	556,5	2,89	3,72	8,67	23,53	9,55	781,8	358,5	1140	10248	0,100	0,122	728	42,3
	Squab	605	3,01	3,87	9,04	24,54	9,96	850,0	389,7	1240	11041	0,0919	0,112	767	46,0
	Grosbeak	636	3,09	3,97	9,27	25,16	10,21	893,5	409,7	1303	11429	0,0875	0,107	792	48,4
	Gannet	666,6	3,16	4,07	9,49	25,75	10,46	936,5	429,4	1366	11979	0,0835	0,102	816	50,7
	Starling	715,5	3,28	4,21	9,83	26,68	10,83	1005,2	460,9	1466	12858	0,0777	0,0949	853	54,4
	Drake	795	3,45	4,44	10,36	28,13	11,42	1116,9	512,1	1629	14287	0,0700	0,0854	912	60,5

FIGURA 9 CARACTERISTICAS DEL CONDUCTOR HANK [16]

La longitud total de la línea de Subtransmisión L3 es de 32,84 km conformada por 29 km de línea con calibre 477 KCMIL y 3,84 km de línea con calibre 500 ACAR.

La longitud total de la línea de Subtransmisión L4 es de 27,5 km conformada por 19,7 km de línea con calibre 477 KCMIL, 7 km de línea con calibre 500 ACAR y 0,736 km de línea con calibre 4/0 ACSR.

### 3.2.2 SECCIONADORES MANUALES Y MOTORIZADOS A 69 KV.

Los seccionadores a nivel de aislamiento de 69 Kv son utilizados en las redes de distribución para realizar operaciones de apertura o cierre al presentarse cualquier contingencia, en algunos equipos pueden ser operados remotamente desde el SCADA y tienen capacidad de interrupción de corriente nominal.

En la línea de Subtransmisión L3 se encuentran operativos tres seccionadores automáticos y en la línea de Subtransmisión L4 se dispone dos seccionadores motorizados operativos, uno normalmente abierto para transferencias y el otro normalmente cerrado.

Las características técnicas de los seccionadores motorizados se presentan en la tabla 1.

TABLA 1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - SECCIONADORES  
MOTORIZADOS

<b>Tipo</b>	Apertura columna giratoria central
<b>Voltaje nominal</b>	72,5 [KV]
<b>Mecanismo</b>	Motorizado
<b>I nominal</b>	1600 [A]
<b>Frecuencia</b>	60 [HZ]
<b>I cc máx</b>	40 [KA]
<b>T máx ICC</b>	2 [seg]

### 3.2.3 SECCIONADOR TRIPOLAR DE ENTRADA

Todas las Subestaciones de Distribución disponen en el pórtico de 69 KV un seccionador tripolar de entrada, cuya apertura o cierre se lo realiza de manera manual por medio de una timonería como se puede observar en la figura 10.



FIGURA 10 MANUAL

En la tabla 2 se muestra las características técnicas de los seccionadores manuales operados por medio de la timonería.

TABLA 2 CARACTERISTICAS TÉCNICAS - SECCIONADORES  
MANUALES

<b>Voltaje nominal</b>	69 [KV]
<b>Mecanismo</b>	Manual
<b>I nominal</b>	1250[ A]
<b>Frecuencia</b>	60 [HZ]
<b>I cc máx</b>	31,5 [KA]
<b>T máx ICC</b>	3 [seg]

#### **3.2.4 INTERRUPTOR A GAS EN SF6 A NIVEL DE 69 KV**

Los interruptores con un medio de aislamiento permiten despejar la corriente de cortocircuito y de operación (nominal).

En las redes de Distribución de CNEL EP a nivel de tensión de 69 KV, el medio de aislamiento que utilizan es el hexafluoruro de azufre, que permite la extinción del arco eléctrico dentro de la cámara del interruptor.





FIGURA 11 INTERRUCTOR A GAS EN SF6 A NIVEL DE 69 KV

Las características generales de interruptor tanque vivo en SF6 se muestran en la tabla 3.

TABLA 3 CARACTERISTICAS GENERALES DE INTERRUCTOR  
TANQUE VIVO EN SF6

<b>Norma</b>	IEC 62271-100
<b>Voltaje nominal</b>	72,5 [Kv]
<b>I nominal</b>	3150 [A]
<b>Frecuencia</b>	60 [HZ]
<b>Iccmáx</b>	40 [KA]
<b>Voltaje -impulso rayo</b>	350 [KVP]
<b>Voltaje bobina de cierre y apertura</b>	125 [Vcc]
<b>Duración nominal –Icc</b>	3 [seg]
<b>Voltaje de motor</b>	125 [VDV]

En la línea de Subtransmisión L3 se encuentran operativos dos interruptores de línea tanque vivo, los cuales se encuentran ubicados en el pórtico de 69 kV de la Subestación de Distribución Durán Sur.

En la línea de Subtransmisión L4 se dispone de dos interruptores de línea tanque vivo ubicado en el pórtico de 69 kV de la Subestación de Distribución Alimentos,

en la Subestación Recreo se dispone de 3 interruptores compactos (3S) marca Mitsubishi del año 1998 como se observa en la figura 11.



FIGURA 12 INTERRUCTORES DE LÍNEA TANQUE VIVO

En las tablas 4, 5 y 6 se muestran las características del interruptor compacto 3S.

TABLA 4 CARACTERISTICAS DE UN INTERRUCTOR A GAS

INTERRUPTOR A GAS	
TIPO	70-SFMT-25B
CORRIENTE NOMINAL	600 [A]
TENSIÓN NOMINAL	72,5 [KV]
FRECUENCIA	60 [Hz]
TENSIÓN DE IMPULSO	350 [Kv]
CORRIENTE DE INTERRUPCIÓN NOMINAL	20 [KA]
TENSIÓN DE CORRIENTE	125 [VDC]
TENSIÓN DE APERTURA	125 [VDC]

TABLA 5 CARACTERISTICAS DEL SECCIONADOR INTERNO

SECCIONADOR	
TIPO	70-GLA-20
TENSIÓN NOMINAL	72,5 [Kv]
CORRIENTE NOMINAL	600 [A]
TENSIÓN RESISITIDA DE IMPULSO	350 [Kv]
CORRIENTE DE CORTA DURACIÓN	20 [KA]

TABLA 6 CARACTERISTICAS DEL MECANISMO DE OPERACIÓN

MECANISMO DE OPERACIÓN MANUAL	
TIPO	TDC
TENSIÓN NOMINAL DE CONTROL	125 [VDC]

### 3.2.5 SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN DE REDUCCIÓN

La configuración de las subestaciones de Distribución tanto privadas como de CNEL EP son de barra simple, lo que disminuye la confiabilidad, seguridad y flexibilidad del Sistema eléctrico al presentarse una suspensión del servicio total por una falla permanente como se muestra en la figura 13.

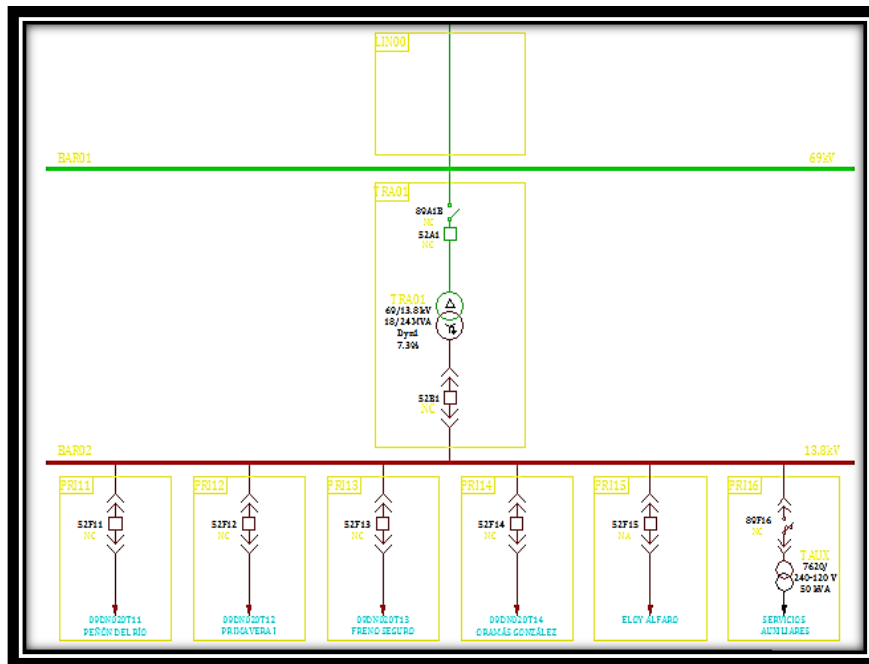


FIGURA 13 CONFIGURACIÓN DE BARRA SIMPLE

El p3rtico de 69 kV de todas las Subestaciones de Distribuci3n de CNEL-EP Guayas Los R3os son a3reas, por su parte el p3rtico a 13,8 kV depende mucho del proyecto y de los m<sup>2</sup> del terreno.

Por lo cual se puede encontrar patios a3reos convencionales o celdas metal clad dentro de cuartos de control o a la intemperie como se muestra en la figura 14 y 15.



FIGURA 14 CELDA METALCLAD



FIGURA 15 PATIO AEREO

### **3.2.6 TRANSFORMADORES DE POTENCIA**

La línea de Subtransmisión L3 entrega energía a seis Subestaciones de Distribución y la línea de Subtransmisión L4 entrega energía a cuatro Subestaciones cuya relación de tensión es de 69/13,8 Kv.

Los transformadores de potencia más comunes dado a perfil de voltaje en máxima y mínimo demanda son los de relación de 69 a 13.8 kV, por factor económico la empresa eléctrica compra y aprueba proyectos con transformadores sin el intercambiador de tap bajo carga como se muestra en la figura 16.



FIGURA 16 TRANSFORMADOR DE POTENCIA 69/13 8KV

En la tabla 7 se muestra la potencia instalada de cada Subestación de Distribución de las posiciones L3 y L4.



TABLA 7 POTENCIA INSTALADA

<b>LÍNEA</b>	<b>SUBESTACIÓN</b>	<b>POTENCIA INSTALADA</b>	<b>PROPIETARIO</b>
LT3	Plastiempaques	2,5 [MVA]	Privada
LT3	Poligráfica	2,5/3,25[MVA]	Privada
LT3	Durán sur	16 / 20 [MVA] - 18/24 [MVA]	Cnelgr
LT3	Outlet	2,5 [MVA]	Privada
LT3	Omarsa	5 / 6,25 [MVA]	Privada
LT3	Duran norte	18 / 24 [MVA]	Cnelgr
LT4	El Recreo	18 / 24 [MVA] - 18/24 [MVA]	Cnelgr
LT4	Alimentsa	5 [MVA]	Privada
LT4	SanMidec	8 [MVA]	Privada
LT4	Surpapel	18 / 24 [MVA]	Privada

### **3.2.7 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y VOLTAJE**

La función principal de los transformadores de corriente de protección es referir la corriente primaria hacia el devanado secundario, a fin de proteger al transformador de potencia por medio de los relés cuyas intensidades son de 5 o 1A, en la figura 17 se muestra los transformadores de corriente para exteriores.



FIGURA 17 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

En la tabla 8 se muestra las características de un transformador de corriente.

TABLA 8 CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR DEL CORRIENTE.

<b>I<sub>cth</sub></b>	720 [A]
<b>I<sub>th</sub></b>	20[KVA]/1[sec]
<b>I<sub>nom</sub></b>	600 [MR]
<b>Bil</b>	149[KV]/325[kVp]
<b>Frecuencia</b>	60 [HZ]
<b>Tensión máxima del Sistema</b>	72,5 [KV]
<b>Norma</b>	IEC 61869

La función principal de los transformadores de tensión inductivos es referir el voltaje de alta en el devanada de secundario a valores menores de 200 voltios para medir la calidad de servicio por medio de un medidor, en la figura 18 se muestra los transformadores de tensión para exteriores.



FIGURA 18 TRANSFORMADOR DE TENSIÓN

En la tabla 9 se muestra las características de un transformador de tensión.

TABLA 9 CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

<b>Tensión máx</b>	72,5 [KV]
<b>Factor de Tensión Nominal</b>	1,2 continuo /1,9-30 (sec)
<b>Bil</b>	140 KV/325[kVp]
<b>Norma</b>	IEC 60044.2
<b>Tensión A-N</b>	69000/3

### **3.2.8 RELÉS DE PROTECCIÓN**

En CNEL EP Guayas los Ríos existe una variedad de marcas de relés de protección cuyas funciones principales y operativas son las de sobrecorriente y diferencial.

En la tabla 10 se muestra los relés operativos por CNEL EP.

TABLA 10 RESUMEN DE LOS RELES DE PROTECCIÓN DE CNEL

<b>Posición</b>	<b>Subestación</b>	<b>Posición</b>	<b>Relación TC</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
LT3	Durán Sur	Línea a omarsa	300/5	siemens	7sj80
LT3	Durán Sur	Entrada Durán Sur a	-	schweitzer	sel 787
LT3	Durán Sur	Entrada Durán sur b	300/5	schweitzer	sel 787
LT3	Durán Norte	Entrada Durán norte	300/5	siemens	7ut85
LT3	Durán Norte	Tap duran norte	600/5	siemens	7sj80
LT4	El recreo	Línea a dos cerritos	300/5	abb	spaj 140 c
LT4	El recreo	Línea a el recreo patio a - b	300/5	abb	spaj 140 c
LT4	El recreo	Línea a alimentsa	300/5	siemens	7sd86
LT4	El recreo	Entrada el recreo a	300/5	siemens	7ut85
LT4	El recreo	Entrada el recreo b	300/5	siemens	7ut85
LT4	Alimentsa	Línea a tap san mindec	600/5	schweitzer	sel 751- a
LT4	San mindec	Línea a san mindec	200/5	schweitzer	sel 751a

## **CAPITULO IV**

### **ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA Y CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN**

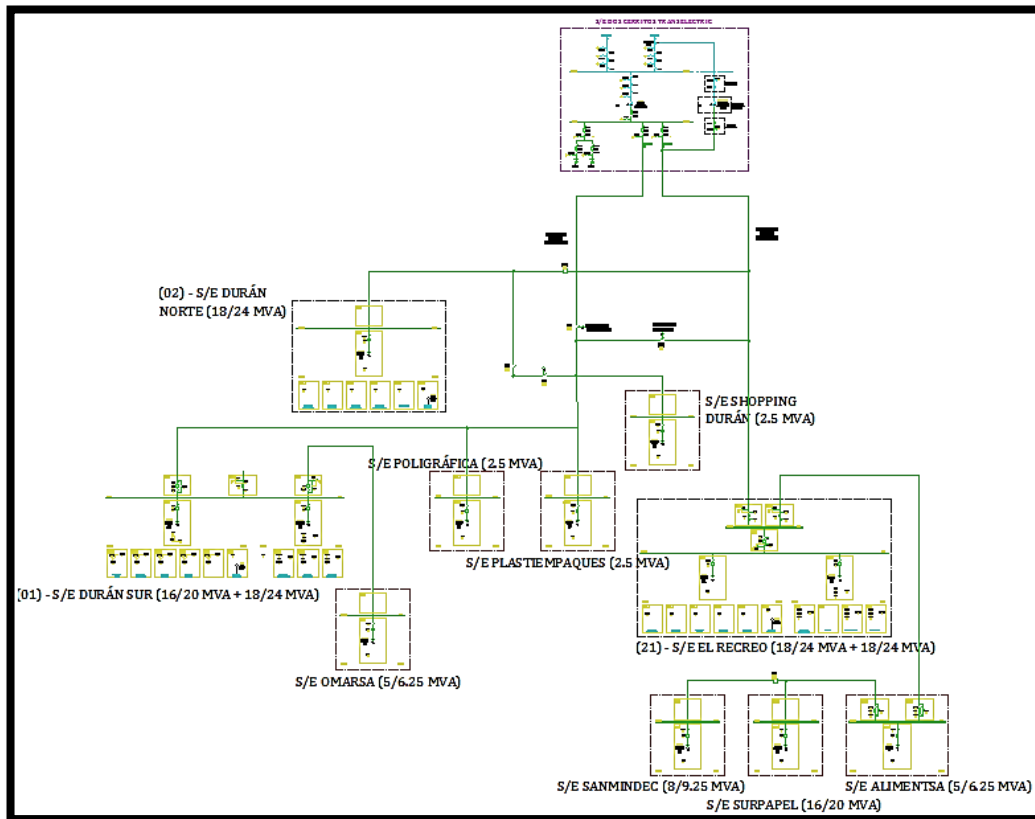
#### **4.1. INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se estudió la topología actual de las redes de alta tensión que suministran energía eléctrica a la zona industrial y residencial del Cantón Durán, verificando los niveles de voltajes en barra de cada Subestación de Distribución asociada a las Líneas de Subtransmisión L3 y L4 procedentes de la Subestación Dos Cerritos de Transelectric.

Para ello se modelaron las redes de 69 kV de CNEL-EP, por medio de la herramienta computacional ETAP se procederá a realizar los análisis de flujo de carga y cortocircuito en demanda máxima y mínima, verificando los parámetros eléctricos (cargabilidad de líneas, cargabilidad de transformadores, capacidad de cortocircuito en equipos de maniobras y caída de voltaje).

La posición L4 se encuentra energizada por medio de la Subestación de Distribución Móvil con capacidad nominal de 45 MVA dentro de las instalaciones de Dos Cerritos y entrega energía eléctrica continua a 25393 abonados entre residenciales, comerciales e industriales y a tres industrias potenciales que constan con su propia subestación.

La posición L3 se encuentra energizada por medio del transformador estacionario de la Subestación Dos Cerritos con capacidad nominal de 167 MVA y entrega energía eléctrica continua a 41720 abonados entre residenciales, comerciales e industriales y a cuatro industrias potenciales que constan con su propia subestación como se observa en la figura 19.



**FIGURA 19 TOPOLOGÍA DE LAS LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN L3 Y L4**

#### 4.2. Demanda máxima y mínima de las posiciones L3 y L4

Las demandas máximas registradas por los medidores de los corredores a 69 kV de los últimos 4 meses son los que se presentan en la tabla 11.

TABLA 11 DEMANDAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS L3 Y L4

<b>DEMANDA MVA</b>	<b>Posición</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>
<b>Máxima</b>	L3	47,5	47,1	45,9	40
	L4	40,7	41,9	42,6	34,8
<b>Mínima</b>	L3	16	12,8	19,5	26,7
	L4	13,7	17	23,5	31,2

Debido a la sobrecarga que presentaba el transformador de 45 MVA de la Subestación móvil CNEL realizo transferencias internas para aliviar carga, por lo cual se toma los registros del mes de marzo para realizar el flujo de carga en demanda máxima y mínima.

#### **4.3 RESULTADOS DEL FLUJO DE CARGA A 69 KV**

En base a los resultados de la simulación de flujo de carga en demanda máxima y mínima se puede observar en la tabla 12 y tabla 13 los voltajes de servicio en cada subestación de distribución, verificando que en demanda máxima CNEL EP no cumple con la regulación 004/01 de calidad de servicio la cual indica que en estado estable el voltaje de servicio no debe de ser mayor al 5% ni menor al 5% del voltaje nominal en barra del punto de entrega (69kV) como se observa en la figura 20.



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

FIGURA 20 REGULACIÓN DE VOLTAJE 004/01 [17]

TABLA 12 RESULTADO DEL FLUJO DE CARGA EN MÁXIMA DEMANDA

Posición	Subestación Distribución	Demanda Máxima			
		P (MW)	Q (MVAR)	Voltaje (kV)	
<b>L3</b>	Durán Norte	15.84	1.07	64,02/12,72	
	Shopping Durán	1.61	1.75	64,17/12,23	
	Plastiempaques	1.19	1.26	64,17/12,42	
	Duran Sur B	11.8	1.46	64,06/12,76	
	Duran Sur A	2.4	1.78	64,06/12,71	
	Omarsa	4	1.17	64,01/12,70	
	Poligráfica	2	1.17	64,11/12,41	
	<b>L4</b>	Recreo A	9.97	0.61	66,93/13,64
		Recreo B	9.53	1.86	66,76/13,59
Alimentsa		1.31	0.34	66,44/13,22	
Surpapel		9.42	2.05	66,39/13,15	
SanMidec		4	1.68	66,37/12,99	

TABLA 13 RESULTADO DEL FLUJO DE CARGA EN MÍNIMA DEMANDA

Posición	Subestación Distribución	Demanda Mínima		
		P (MW)	Q (MVAR)	Voltaje (kV)
L3	Durán Norte	10.19	0.9	66,21/13,18
	Shopping Durán	0.25	0.27	66,31/13,16
	Plastiempaques	1.13	1.2	66,31/12,85
	Duran Sur B	8.68	1.28	66,27/13,16
	Duran Sur A	5.8	0.2	66,27/13,22
	Omarsa	0.18	0.078	66,24/13,24
	Poligráfica	0.18	0.078	66,27/13,21
	L4	Recreo A	7.65	0.97
Recreo B		6.67	1.66	67,86/13,63
Alimentsa		1.57	0.52	66,50/13,2
Surpapel		9.47	2.11	66,45/13,16
SanMidec		5	2	66,42/12,93

Se puede apreciar en la figura 20 y 21 que los factores de potencia de la posición L3 y L4 tanto en mínima como en máxima demanda en los puntos de entrega no cumplen con la regulación 009/99 [18], la cual indica que los Distribuidores y Grandes Consumidores deben comprometer en cada uno de sus puntos de interconexión con el transportista u otros agentes del M.E.M, un factor de potencia dentro de los siguientes límites: 0.98 o superior inductivo para demanda media y máxima. 1.0 o menor inductivo para demanda mínima.

La cargabilidad de los transformadores de potencia a lo largo de las posiciones L3 y L4 se encuentran sin sobrecargas tanto en mínima como en máxima demanda dado a que se encuentra por debajo de la capacidad en OA.

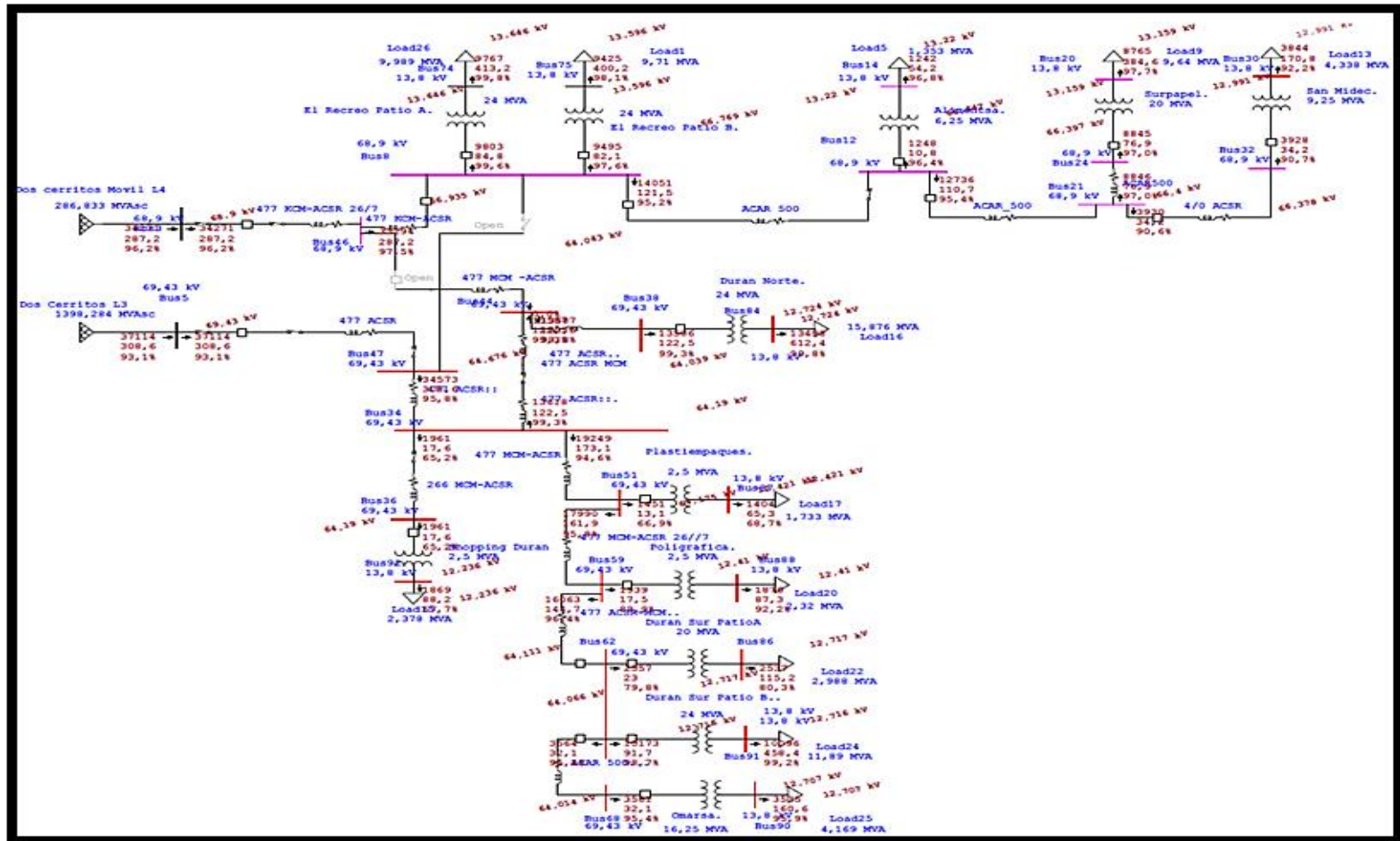


FIGURA 21 FLUJO DE CARGA

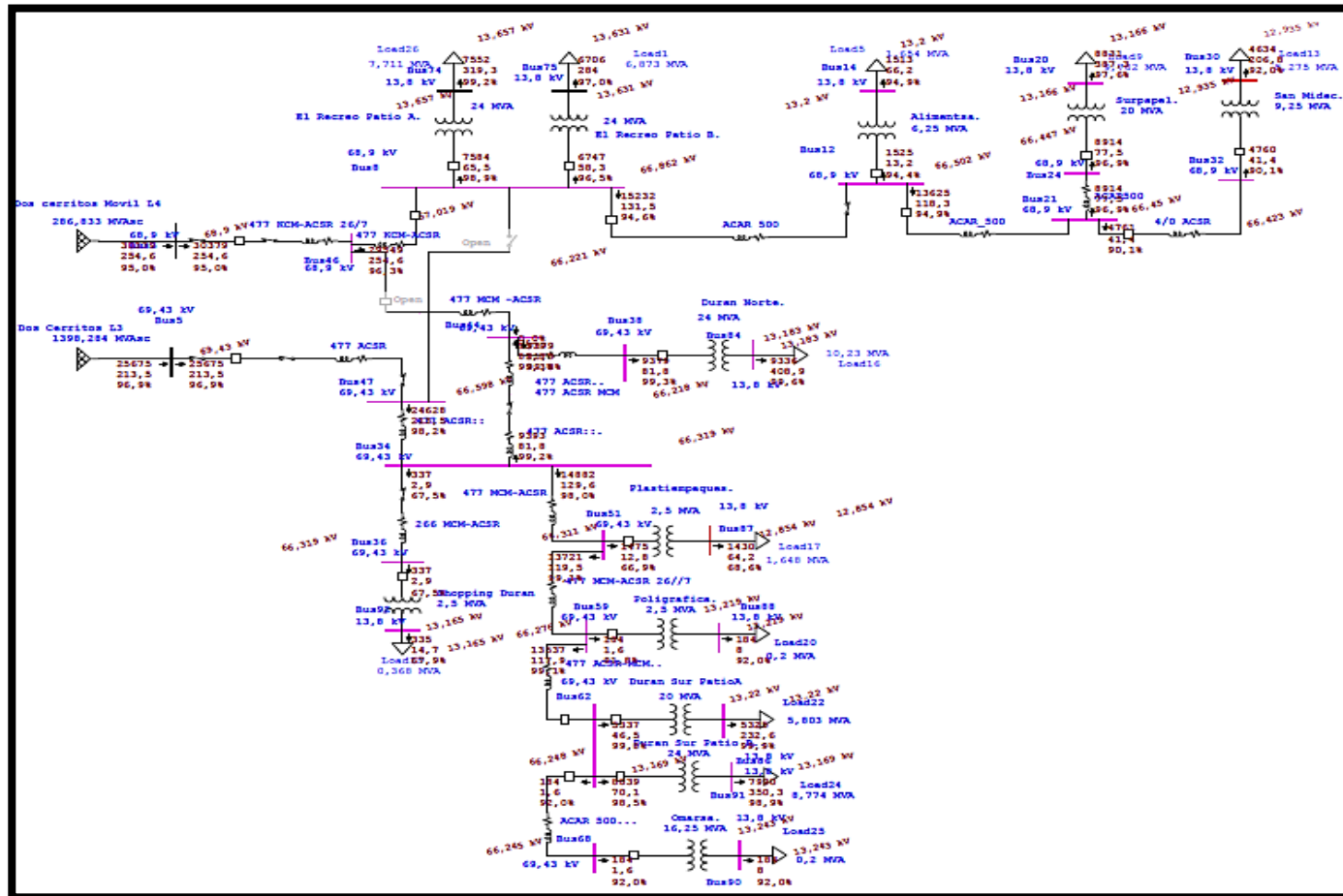


FIGURA 22 FLUJO DE CARGA EN MÍNIMA DEMANDA

### **4.3. DATOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN**

Se presenta los parámetros eléctricos de cada elemento que conforma las redes de subtransmisión para realizar la simulación de cortocircuito según la norma IEC 60909. [12]

#### **4.3.1. NIVELES DE CORTOCIRCUITO DE IMPEDANCIAS EQUIVALENTES EN LAS BARRAS DE LOS PUNTOS DE ENTREGA.**

La Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP) proporcionó la información de los MVA de cortocircuito, corrientes de cortocircuito e impedancias a un nivel de tensión de 69 kV para modelar las fuentes en el software ETAP.

##### **4.3.1.1. CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO E IMPEDANCIAS EQUIVALENTES EN LA POSICIÓN L3**

TABLA 14 MVA CC DE LA POSICIÓN L3 PARA FALLA TRIFASICA

<b>Falla Trifásica</b>						
<b>Posición</b>	<b>KV</b>	<b>MVA CC</b>	<b>I CC (KA)</b>	<b>R (Ohm)</b>	<b>X (Ohm)</b>	<b>Z (Ohm)</b>
L3	69	1375,4	11,5	0,1	3,8	3,8

TABLA 15 MVA CC DE LA POSICIÓN PARA FALLA MONOFASICA

<b>Falla Monofásica</b>			
<b>Posición</b>	<b>KV</b>	<b>MVA CC</b>	<b>I CC (KA)</b>
L3	69	593,7	14,9
	<b>R0 (Ohm)</b>	<b>R1 (Ohm)</b>	<b>R2 (Ohm)</b>
	0	0,1	0,2
	<b>X0 (Ohm)</b>	<b>X1 (Ohm)</b>	<b>X2 (Ohm)</b>
	1,2	3,8	3,8

**4.3.1.2. CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO E IMPEDANCIAS EQUIVALENTES EN LA POSICIÓN L4**

TABLA 16 MVA CC DE LA POSICIÓN L4 PARA FALLA TRIFASICA

<b>Falla Trifásica</b>						
<b>Posición</b>	<b>KV</b>	<b>MVA CC</b>	<b>I CC (KA)</b>	<b>R (Ohm)</b>	<b>X (Ohm)</b>	<b>Z (Ohm)</b>
L4	69	316,1	2,6	0,9	16,5	16,6

TABLA 17 MVA CC DE LA POSICIÓN L4 PARA LA FALLA MONOFASICA

<b>Falla Monofásica</b>			
<b>Posición</b>	<b>KV</b>	<b>MVA CC</b>	<b>I CC (KA)</b>
L4	69	104,9	2,6
	<b>R0 (Ohm)</b>	<b>R1 (Ohm)</b>	<b>R2 (Ohm)</b>
	0,2	0,9	0,9
	<b>X0 (Ohm)</b>	<b>X1 (Ohm)</b>	<b>X2 (Ohm)</b>
	16,8	16,5	16,5

#### **4.3.2. IMPEDANCIA DE LAS LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN L3 Y L4.**

Como se había indicado en la sección 4.1, las líneas de subtransmisión están conformadas por dos calibres de conductor ACAR 500 MCM y ACSR 477 MCM 26/7 cuyos parámetros a ingresar en el simulador se observa en la tabla 18 y 19.



**TABLA 18 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONDUCTOR 500 MCM**

Calibre Kcmil	Diámetros (mm)			Resistencia eléctrica (Ohm/Km)		Capacidad de Corriente	
	Hilos de aleación de aluminio	Total	RMG	DC a 20°C	AC a 75°C	[A]	[KA]
500	4,12	20,60	9,58	0,120	0,145	645	29,3

**TABLA 19 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONDUCTOR 477 MCM**

Calibre Kcmil	Diámetros (mm)			Resistencia eléctrica (Ohm/Km)		Capacidad de Corriente	
	Hilos de aleación de aluminio + acero	Total	RMG	DC a 20°C	AC a 75°C	[A]	[KA]
477	6,11	21,79	8,85	0,117	0,142	661	36,3

**4.3.3. IMPEDANCIA DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA ENERGIZADOS DE LAS POSICIONES L3 Y L4**

TABLA 20 IMPEDANCIAS DE CORTOCIRCUITO DE LOS  
TRANSFORMADORES DE POTENCIA

<b>Posición</b>	<b>Subestación Distribución</b>	<b>Potencia nominal [MVA]</b>	<b>% ZCC</b>
<b>L3</b>	Durán Norte	18/24	7,31
	Shopping Durán	5	6,3
	Plastempaques	5	6,2
	Duran Sur B	18/24	7,31
	Duran Sur A	16/20	7,95
	Omarsa	5	7,24
	Poligráfica	5	7,13
<b>L4</b>	Recreo A	18/24	7,31
	Recreo B	18/24	7,31
	Alimentsa	5/6,25	6,84
	Surpapel	18/24	8,13
	SanMidec	8	6,98

#### **4.4. RESULTADOS DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO**

Dado a que las impedancias Thévenin en barra a 69 kV en los puntos de entrega (Transelectric) en máxima y mínima generación son relativamente iguales, se procede a simular las corrientes de cortocircuito en todo el sistema de subtransmisión mediante el software ETAP con la impedancia Thévenin en

máxima generación dando los siguientes resultados como se observa en la tabla 21.

**TABLA 21 ICC EN BARRA DE 69 KV DE LAS SUBESTACIONES**

	<b>Subestación Distribución</b>	<b>Tipos de Fallas (kA)</b>			
		<b>LLL</b>	<b>LL</b>	<b>LLG</b>	<b>LG</b>
L3	Durán Norte	2.09	1.81	1.91	1.37
	Shopping Durán	2.3	1.99	2.04	1.55
	Plastiempaques	2.29	1.99	2.09	1.54
	Duran Sur B	2.2	1.9	2.05	1.46
	Duran Sur A	2.2	1.9	2.05	1.46
	Omarsa	2.02	1.75	1.84	1.32
	Poligráfica	2.24	1.99	2.05	1.5
	L4	Recreo A	1.63	1.41	1.5
Recreo B		1.63	1.41	1.5	1.23
Alimentsa		1.47	1.27	1.34	1.06
Surpapel		1.44	1.25	1.32	1.04
SanMidec		1.43	1.23	1.3	1.02

Con la mayor corriente de falla que se pueda presentar en el Sistema de Subtransmisión, se verifica con cada equipo de interrupción o de maniobra que estén instalados en las posiciones L3 y L4 si se encuentran bien dimensionados para soportar dicha corriente.

TABLA 22 ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS DE MANIOBRA

<b>Equipos en el pórtico 69 kV</b>	<b>Datos de Placa (kA)</b>	
Seccionador Tripolar 69 Kv	10	<b>CUMPLE</b>
Interruptor Gis 69 Kv	20	<b>CUMPLE</b>

## **CAPITULO V**

### **ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS**

#### **5.1 INTRODUCCIÓN**

En el capítulo 5 se centró en la coordinación de los relés de protección en las líneas y en las Subestaciones de Distribución a lo largo de la línea de Subtransmisión L3 y L4, tomando en cuenta las corrientes de cortocircuito máximas y capacidad nominal de los Transformadores de Potencia.

Se comprobó la relación de los transformadores de corriente para evitar saturaciones en el núcleo ante una corriente nominal o de cortocircuito mayor a la relación primaria basándonos en la norma IEEE Std C57.13.1993(R2003). [15]

Se realizó la coordinación de curvas en fase y neutro generando nuevos ajustes de protecciones de los relés de sobrecorriente y se incluyeron mejoras de equipos o de ajuste si es el caso para garantizar la selectividad al momento de presentarse una falla en el Sistema de Distribución.

#### **5.2. CALCULO DE LA CORRIENTE NOMINAL DE TRANSFORMADOR DE POTENCIA**

De acuerdo la ecuación 1 se procedió a calcular la corriente nominal en el lado de alta tensión de todos los Transformadores de Potencia que se encuentran energizados desde la línea de Subtransmisión L3 y L4.

$$I_{nominal} = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3} * VLL_{nominal}} \quad (1)$$

ECUACIÓN 1 CORRIENTE NOMINAL DE TRANSFORMADOR

**S3Φ:** Potencia aparente Trifásica nominal (KVA)

**VLL:** Voltaje de línea a línea nominal (kV)

**I:** Corriente nominal (A)

El resultado del cálculo matemático de las corrientes en amperios de cada transformador se presenta en la tabla 23.

TABLA 23 CORRIENTE NOMINAL EN EL LADO DE ALTA TENSIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA

<b>LÍNEA</b>	<b>SUBESTACIÓN</b>	<b>POTENCIA INSTALADA FA</b>	<b>Corriente (A)</b>
LT3	Plastempaques	2,5 MVA	20,9
LT3	Poligráfica	3,25 MVA	27,1
LT3	Durán sur	20 MVA /24 MVA	167,3 / 200,8
LT3	Outlet	2,5 MVA	20,9
LT3	Omarsa	6,25 MVA	52,2
LT3	Duran Norte	24 MVA	200,8
LT4	El Recreo	24 MVA / 24 MVA	200,8 / 200,8
LT4	Alimentsa	5 MVA	41,8
LT4	SanMidec	8 MVA	66,9
LT4	Surpapel	24 MVA	200,8

### 5.3. CALCULO DE LA CORRIENTE DE PICKUP DE FASE DE LOS RELÉS DE PROTECCIÓN

Para el cálculo de la corriente (I) pickup en fase de la función de sobrecorriente de tiempo inverso (51) de cada relé de protección en la Subestación Eléctrica en el lado de alta tensión (69kV) se lo realizará a las 1,20 veces la corriente nominal en FA del Transformador de Potencia.

$$I_{pickup} = 1,20 * I_{nominal FA} (2)$$

#### ECUACIÓN 2 CORRIENTE PICKUP

**I pickup:** Corriente mínima de operación (A)

**I nominal FA:** Corriente nominal del transformador en capacidad de enfriamiento forzado (A)

El resultado del cálculo matemático de la corriente de mínima operación en amperios de cada transformador se presenta en la tabla 24.

TABLA 24 CORRIENTE DE MÍNIMA OPERACIÓN A 69 KV DE CADA SUBESTACIÓN

<b>LÍNEA</b>	<b>SUBESTACIÓN</b>	<b>Corriente (A)</b>	<b>I Pickup(A)</b>
LT3	Plastiempaques	20,9	24,9
LT3	Poligráfica	20,9	24,9
LT3	Durán sur	167,3 / 200,8	208,2 / 249,6
LT3	Outlet	20,9	24,9
LT3	Omarsa	52,2	169,8
LT3	Duran Norte	200,8	249,6
LT4	El Recreo	200,8 / 200,8	250,2
LT4	Alimentsa	41,8	65,2
LT4	SanMidec	66,9	50
LT4	Surpapel	200,8	208,2

Para el ajuste de la I Pickup de los relés de línea tanto en la línea de Subtransmisión L3 y L4 como se marca en la figura 23 y 24, se toma en cuenta la corriente máxima que nos refleja el flujo de carga tomando en cuenta capacidad nominal del conductor y transferencia.



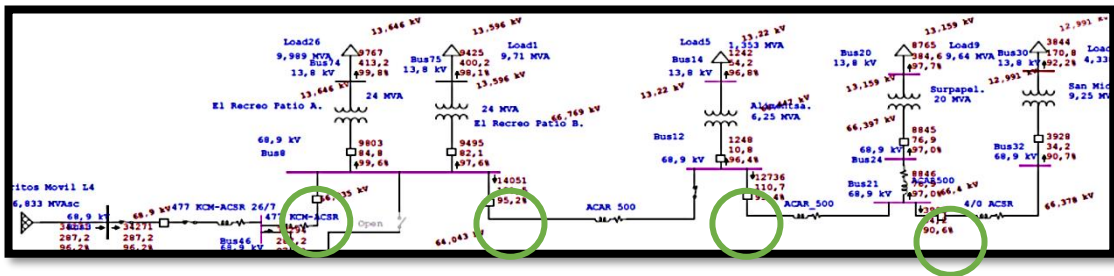


FIGURA 23 EQUIPOS DE LÍNEA INSTALADOS EN LAS LST L4

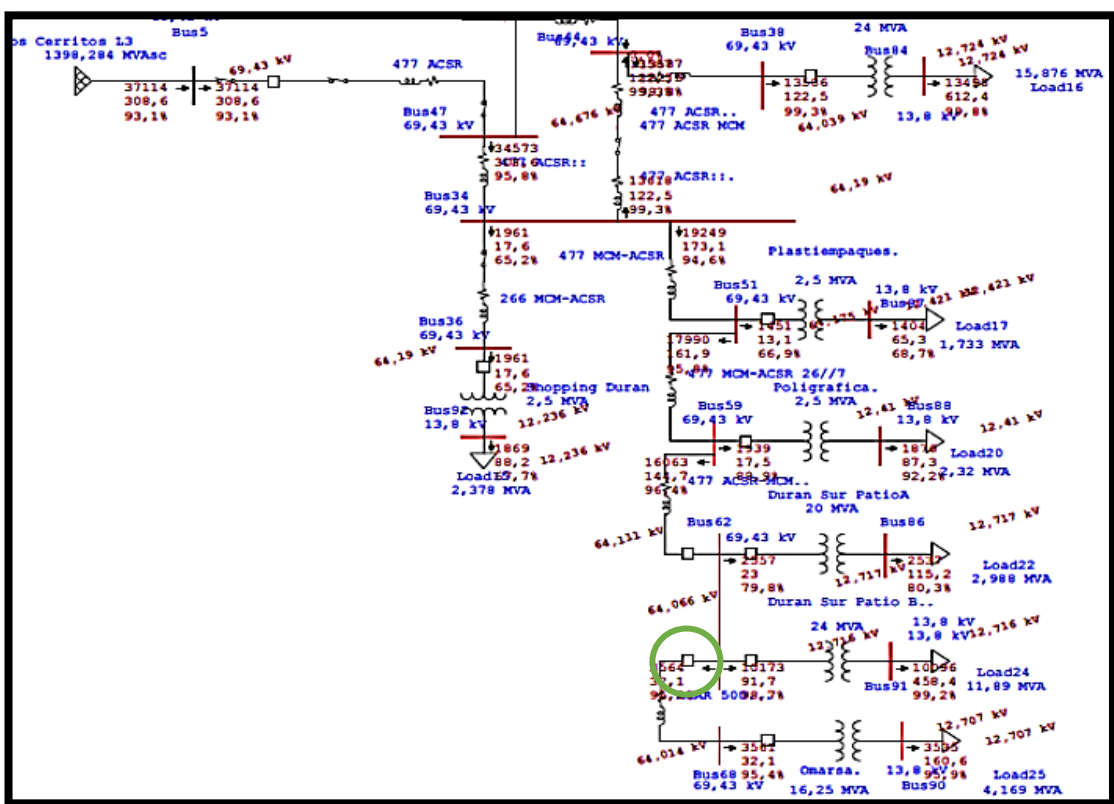


FIGURA 24 EQUIPOS DE LÍNEA INSTALADOS EN LA LST L4

Como resultado se presenta en la tabla 25 los ajustes de los relés de línea que se aprecian en la figura 23 y 24.

**TABLA 25 CORRIENTE DE MÍNIMA OPERACIÓN DE LOS RELES DE LÍNEA**

<b>LÍNEA</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>I Pickup (A)</b>
LT4	Entrada S/E Recreo	300
	Salida S/E Recreo	250
	Salida S/E Alimentsa	200
	Entrada S/E SanMidec	50
LT3	Salida S/E Durán Sur	108

#### **5.4. CALCULO DE LA CORRIENTE DE PICKUP DE NEUTRO DE LOS RELÉS DE PROTECCIÓN**

El ajuste será el 50% de la corriente de operación mínima en fase para cada relé de protección, a continuación, se presenta en la tabla 26 y 27 los ajustes del 51N.

**TABLA 26 CORRIENTE DE MÍNIMA OPERACIÓN EN NEUTRO A 69 KV  
DE CADA SUBESTACIÓN**

<b>LÍNEA</b>	<b>SUBESTACIÓN</b>	<b>I Pickup (A)</b>
LT3	Plastiempaques	12,48
LT3	Poligráfica	12,48
LT3	Durán sur	103,8 / 124,8
LT3	Outlet	12,48
LT3	Omarsa	32,4
LT3	Duran Norte	125
LT4	El Recreo	124,8
LT4	Alimentsa	32,6
LT4	SanMidec	24,8
LT4	Surpapel	104,4

**TABLA 27 CORRIENTE DE MÍNIMA OPERACIÓN EN NEUTRO DE  
RELES LÍNEA**

<b>LÍNEA</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>I Pickup (A)</b>
LT4	Entrada S/E Recreo	150
	Salida S/E Recreo	124,8
	Salida S/E Alimentsa	100
	Entrada S/E SanMidec	24,8
LT3	Salida S/E Durán Sur	108

## 5.5. TRANSFORMADORES DE CORRIENTES

Dado al estándar de la IEEE C57.13 [19], la cual indica que los transformadores de corriente C-100 no exceden el 10 % de error si la corriente no sobrepasa 20 veces la corriente nominal del secundario.

Se procede a verificar la saturación de los transformadores de corriente al presentarse la mayor corriente de falla en barra, las corrientes de cortocircuito se las simulo en el capítulo y se las muestra en la tabla 28.

TABLA 28 CORRIENTES DE FALLA MÁXIMAS EN BARRA

	Subestación Distribución	Tipos de Fallas (kA)			
		LLL	LL	LLG	LG
L3	Durán Norte	2.09	1.81	1.91	1.37
	Shopping Durán	2.3	1.99	2.04	1.55
	Plastiempaques	2.29	1.99	2.09	1.54
	Duran Sur B	2.2	1.9	2.05	1.46
	Duran Sur A	2.2	1.9	2.05	1.46
	Omarsa	2.02	1.75	1.84	1.32
	Poligráfica	2.24	1.99	2.05	1.5
	L4	Recreo A	1.63	1.41	1.5
Recreo B		1.63	1.41	1.5	1.23
Alimentsa		1.47	1.27	1.34	1.06
Surpapel		1.44	1.25	1.32	1.04
SanMidec		1.43	1.23	1.3	1.02

Se devanado secundario la corriente de falla LLL, verificando que la corriente reflejada sea menor a 100 (A) para evitar futuras saturaciones en los TC.

**TABLA 29 CORRIENTES DE FALLA REFLEJADAS AL SECUNDARIO  
DEL TC**

LÍNEA	Subestación Distribución	Relación de los TC	Tipos de Fallas (kA)	I secundaria (A)
			LLL	
L3	Durán Norte	300:5	2.09	34.83
	Shopping Durán	150:5	2.3	76.67
	Plastempaques	150:5	2.29	76.33
	Duran Sur B	300:5	2.2	36.67
	Duran Sur A	300:5	2.2	36.67
	Omarsa	150:5	2.02	67.33
	Poligráfica	150:5	2.24	74.67
L4	Recreo A	300:5	1.63	27.17
	Recreo B	300:5	1.63	27.17
	Alimentsa	200:5	1.47	36.75
	Surpapel	300:5	1.44	24.00
	SanMidec	200:5	1.43	35.75

**TABLA 30 CORRIENTES DE FALLA REFLEJADAS AL SECUNDARIO  
DEL TC**

<b>LÍNEA</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>Relación de los TC</b>	<b>LLL</b>	<b>I secundaria [A]</b>
LT4	Entrada Recreo S/E	300:5	1.63	27.17
	Salida Recreo S/E	300:5	1.63	27.17
	Salida Alimentsa S/E	600:5	1.47	12.25
	Entrada SanMidec S/E	200:5	1.43	35.75
LT3	Salida Durán Sur S/E	300:5	2.2	36.67

**5.6. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN FASE DE LA LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN L3.**

**5.6.1. COORDINACIÓN DE FASE ENTRE LA S/E DURÁN NORTE Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC**

Se puede observar en la figura 25 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Durán Norte existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

La función 50 F se la ajustó de acuerdo con la máxima corriente de cortocircuito trifásica en barra a 69 Kv de la S/E Durán Norte cuyo valor es de 2000 (A), en la tabla 31 se presenta el resumen del ajuste de la protección a 69 kV de la S/E Durán Norte.

TABLA 31 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E DURAN NORTE

<b>S/E Durán Norte</b>	
<b>Ajustes 51F</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	2.083 [A]
TC's	300/5
Dial(Td)	0,1
Curva	Inversa(IEC)
<b>Ajustes 50F</b>	<b>Valores</b>
Ipick-up primario	2000 [A]
Ipick-up Secundario	33,33 [A]

En la tabla 31 se puede apreciar los ajustes de fase de las funciones 51 con un pick up secundario de 2.083 [A], la relación de los TC's es de 300/5 con un Dial de 0,1 y una curva inversa, y la función 50 con un pick up primario de 2000 [A] y un pick up secundario de 33,33 [A].

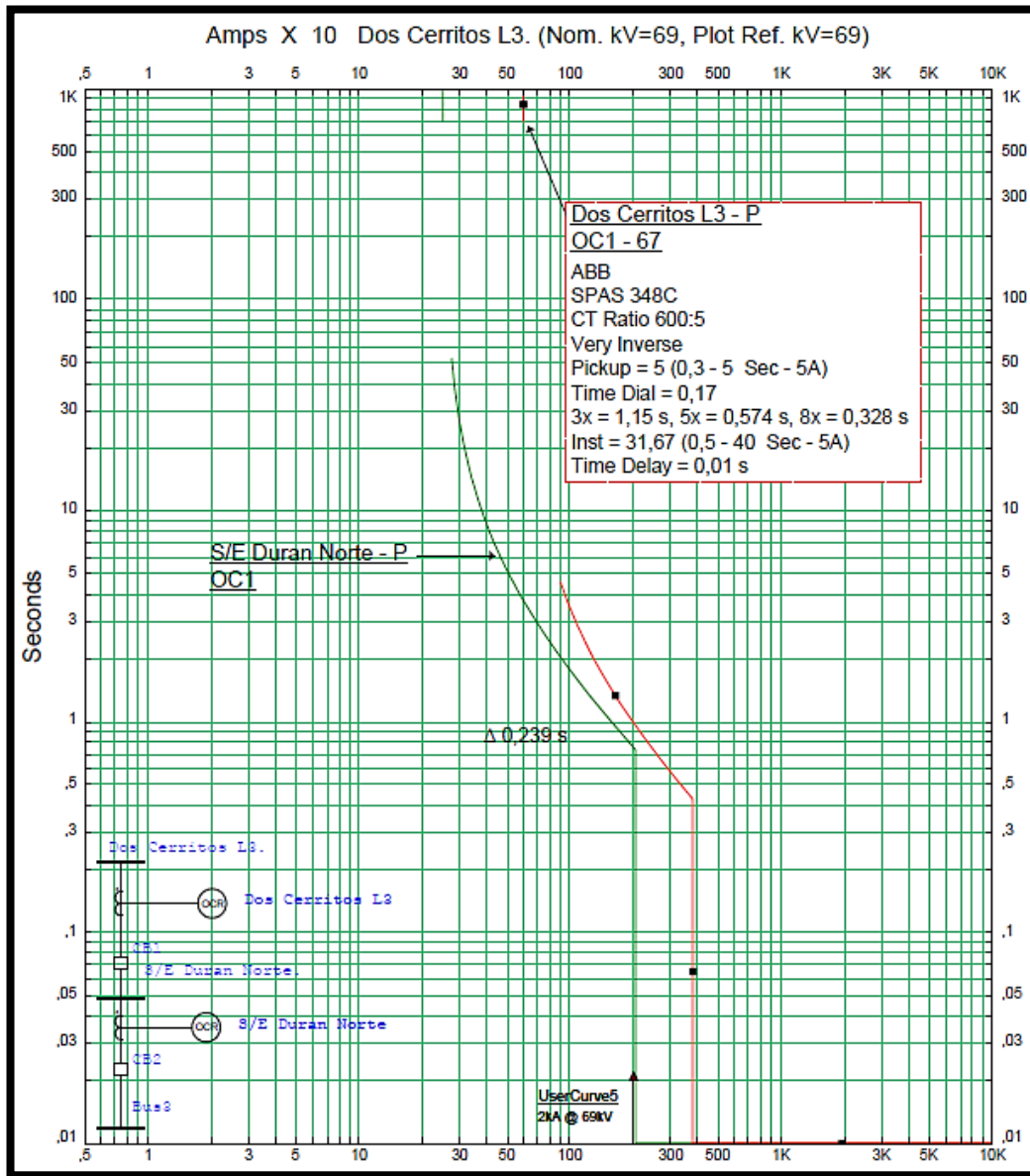


FIGURA 25 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E DURAN NORTE  
Y LA S/E DOS CERRITOS



### 5.6.2. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E SHOPPING DE DURÁN Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC

Se puede observar en la figura 26 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Shopping de Durán existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

La función 50 F se la ajustó de acuerdo con la máxima corriente de cortocircuito trifásica en barra a 69 Kv de la S/E Shopping de Durán cuyo valor es de 2000 (A), en la tabla 32 se presenta el resumen del ajuste de la protección a 69 kV de la S/E Durán Norte.

TABLA 32 RESUMEN DE AJUSTES DE LA S/E SHOPPING DE DURAN

<b>S/E Shopping de Durán</b>	
<b>Ajustes 51F</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	0,83 [A]
TC's	150/5
Dial(Td)	5,14
Curva	Inversa(ANSII)
<b>Ajustes 50F</b>	<b>Valores</b>
Ipick-up primario	1920 [A]
Ipick-up Secundario	64 [A]

En la tabla 32 se puede apreciar los ajustes de fase de las funciones 51 con un pick up secundario de 0.83 [A], la relación de los TC's es de 150/5 con un Dial de 5.14 y una curva inversa (ANSII), y la función 50 con un pick up primario de 1920 [A] y un pick up secundario de 64 [A].

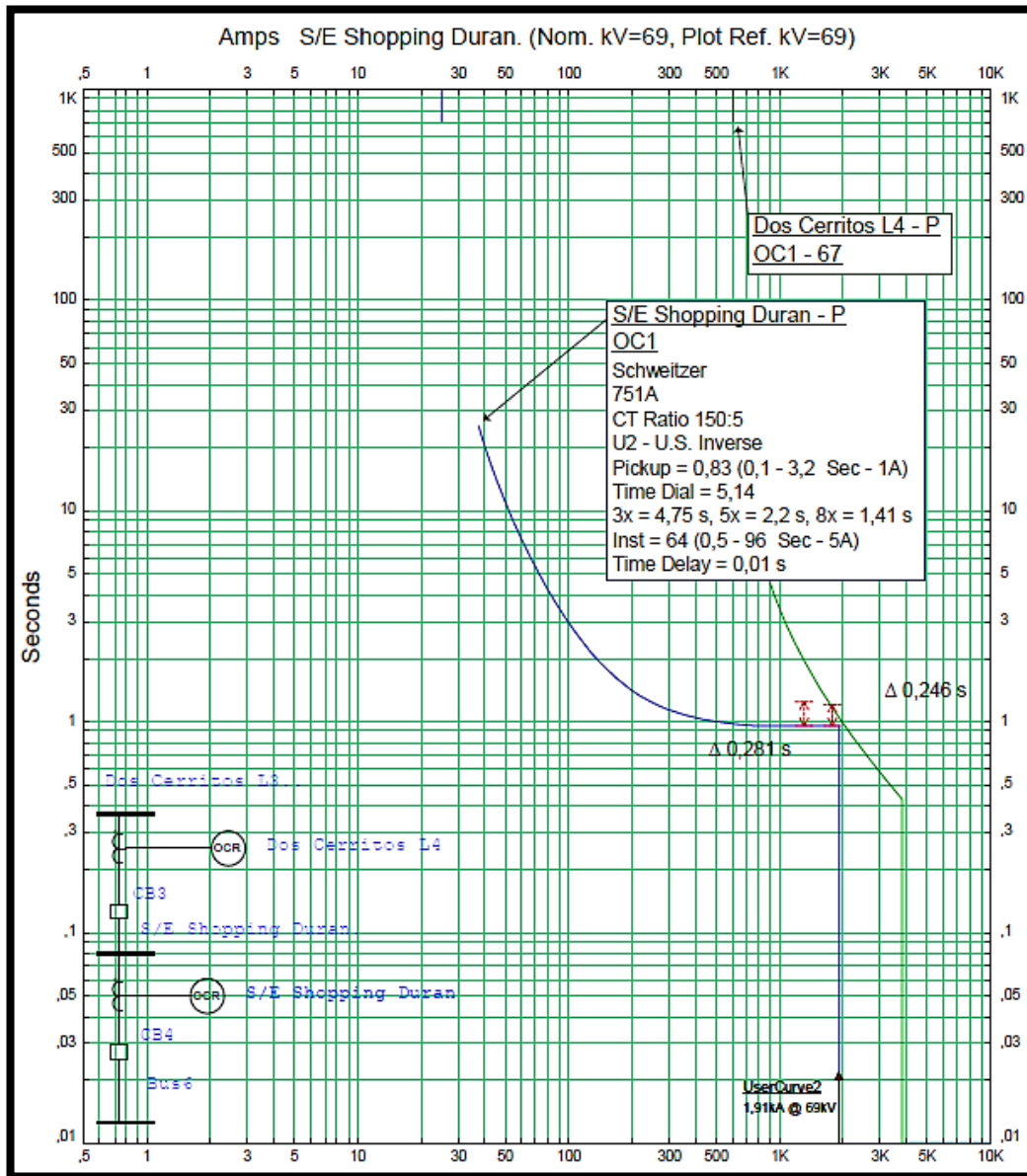


FIGURA 26 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E SHOPPING DE DURAN Y LA S/E DOS CERRITOS

### 5.6.3. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E PLASTIEMPAQUES Y LA S/E DOS CERRITOS

Se puede observar en la figura 27 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Plastiempaques existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

La función 50 F se la ajustó de acuerdo a la máxima corriente de cortocircuito trifásica en barra a 69 Kv de la S/E Plastiempaques cuyo valor es de 1560 (A), en la tabla 33 se presenta el resumen del ajuste de la protección a 69 kV de la S/E Plastiempaques.

TABLA 33 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E PLASTIEMPAQUES

<b>S/E Plastiempaques</b>	
<b>Ajustes 51F</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	0,83 [A]
TC's	150/5
Dial(Td)	3,19
Curva	Inversa(ANSI)
<b>Ajustes 50F</b>	<b>Valores</b>
Ipick-up primario	1560 [A]
Ipick-up Secundario	52 [A]

En la tabla 33 se puede apreciar los ajustes de fase de las funciones 51 con un pick up secundario de 0.83 [A], la relación de los TC's es de 150/5 con un Dial de 3.19 y una curva inversa (ANSI), y la función 50 con un pick up primario de 1560 [A] y un pick up secundario de 52 [A].

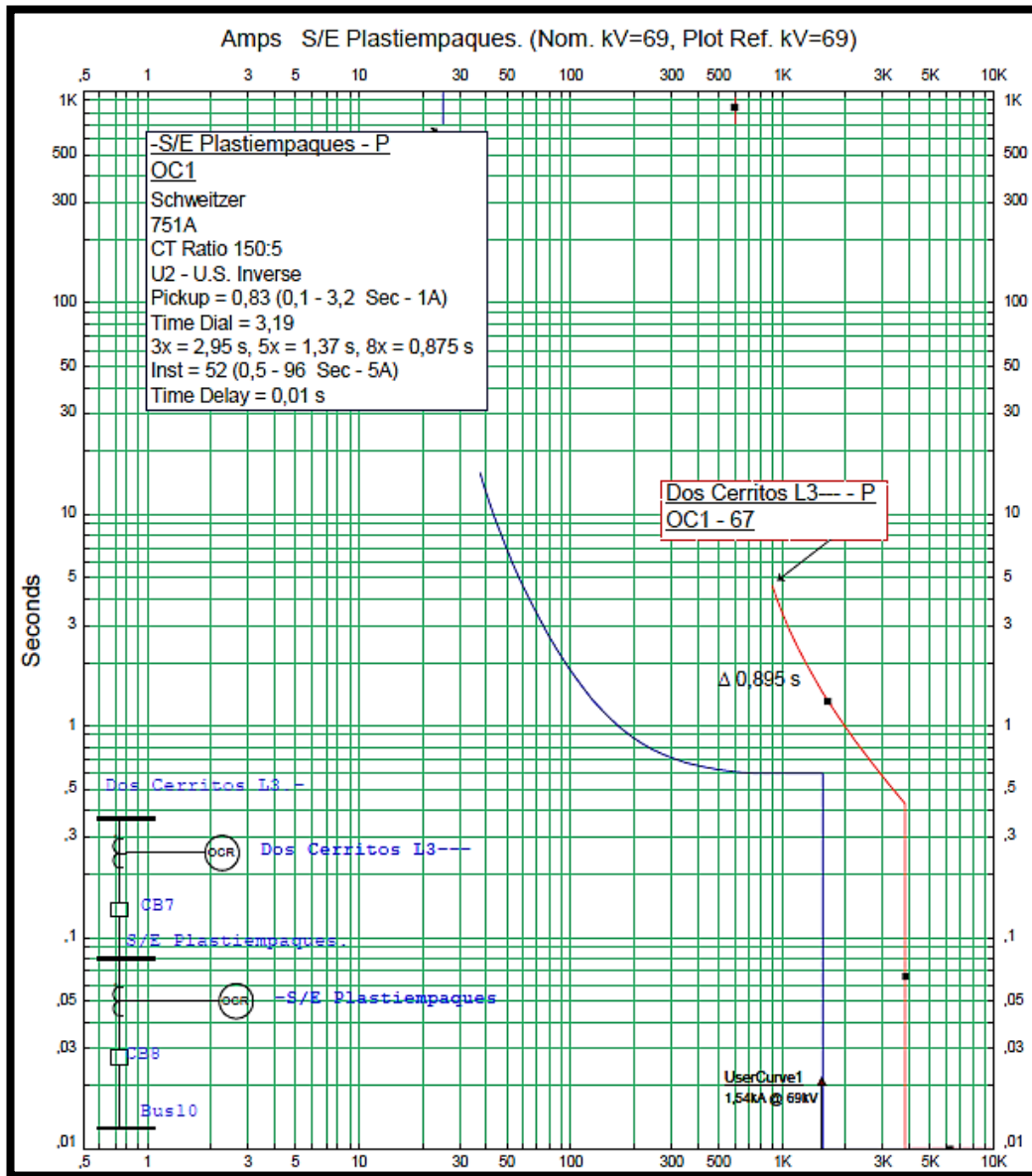


FIGURA 27 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E PLASTIEMPAQUES Y LA S/E DOS CERRITOS

#### 5.6.4. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E POLIGRÁFICA Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC

Se puede observar en la figura 28 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Poligráfica existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

La función 50 F se la ajustó de acuerdo a la máxima corriente de cortocircuito trifásica en barra a 69 Kv de la S/E Poligráfica cuyo valor es de 2040 (A), en la tabla 34 se presenta el resumen del ajuste de la protección a 69 kV de la S/E Poligráfica.

TABLA 34 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E POLIGRÁFICA

<b>S/E Poligráfica</b>	
<b>Ajustes 51F</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	0,83 [A]
TC's	150/5
Dial(Td)	5,45
Curva	Muy Inversa (ANSI)
<b>Ajustes 50F</b>	<b>Valores</b>
Ipick-up primario	2040 [A]
Ipick-up Secundario	68 [A]

En la tabla 34 se puede apreciar los ajustes de fase de las funciones 51 con un pick up secundario de 0.83 [A], la relación de los TC's es de 150/5 con un Dial de 5.45 y una curva muy inversa (ANSI), y la función 50 con un pick up primario de 2040 [A] y un pick up secundario de 68 [A].



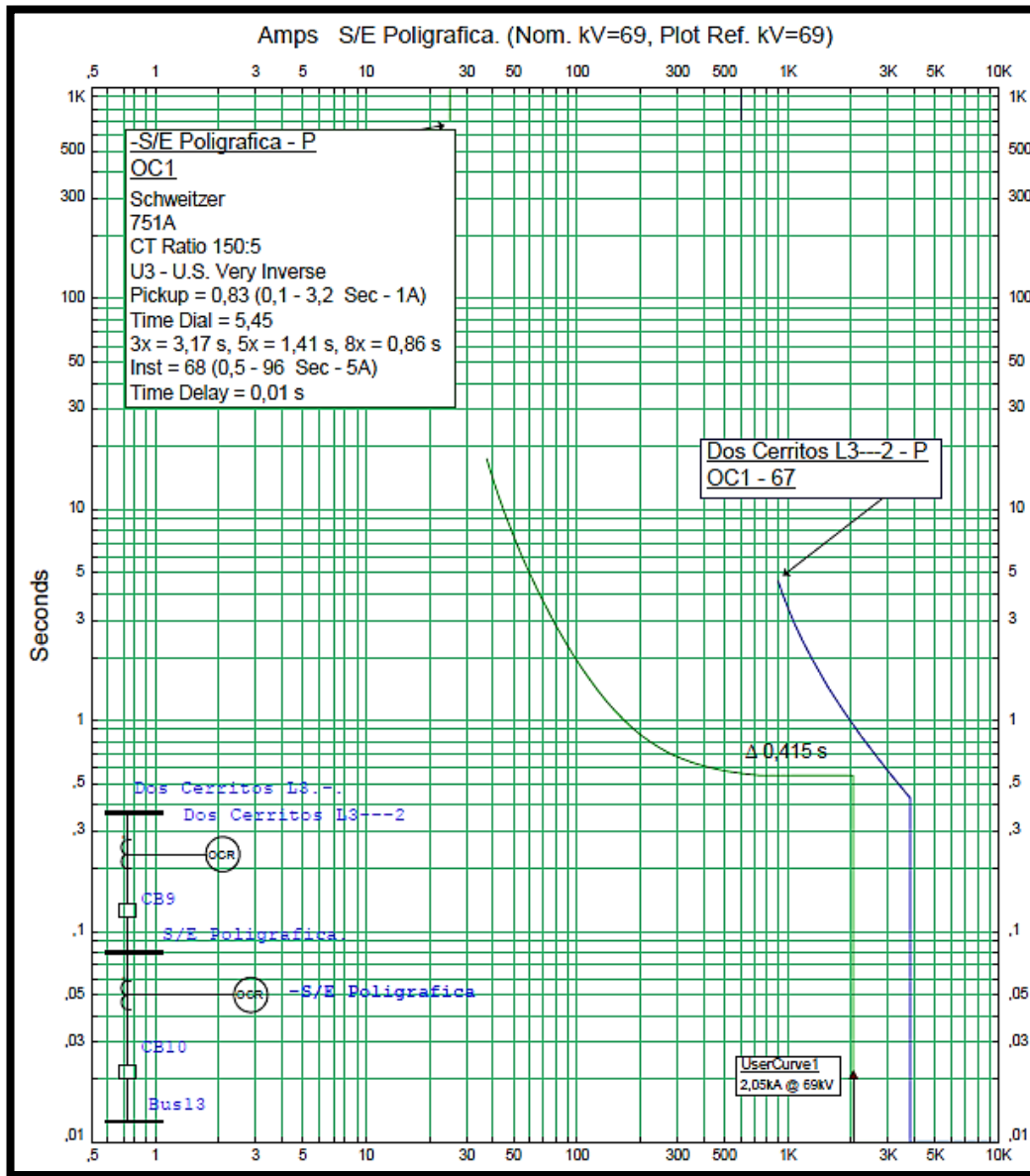


FIGURA 28 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E POLIGRÁFICA Y LA S/E DOS CERRITOS

### 5.6.5. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E DURÁN SUR PATIO A Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC

Se puede observar en la figura 29 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Durán Sur existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

La función 50 F se la ajustó de acuerdo con la máxima corriente de cortocircuito trifásica en barra a 69 Kv de la S/E Durán Sur cuyo valor es de 1500 (A), en la tabla 35 se presenta el resumen del ajuste de la protección a 69 kV de la S/E Durán Sur patio A.

TABLA 35 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE L S/E DURAN SUR A

<b>S/E Durán Sur A</b>	
<b>Ajustes 51F</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	3,47 [A]
TC's	300/5
Dial(Td)	0,39
Curva	Muy Inversa (IEC)
<b>Ajustes 50F</b>	<b>Valores</b>
Ipick-up primario	1500 [A]
Ipick-up Secundario	25 [A]

En la tabla 35 se puede apreciar los ajustes de fase de las funciones 51 con un pick up secundario de 3.47 [A], la relación de los TC's es de 300/5 con un Dial de 0.39 y una curva muy inversa (IEC), y la función 50 con un pick up primario de 1500 [A] y un pick up secundario de 25 [A].

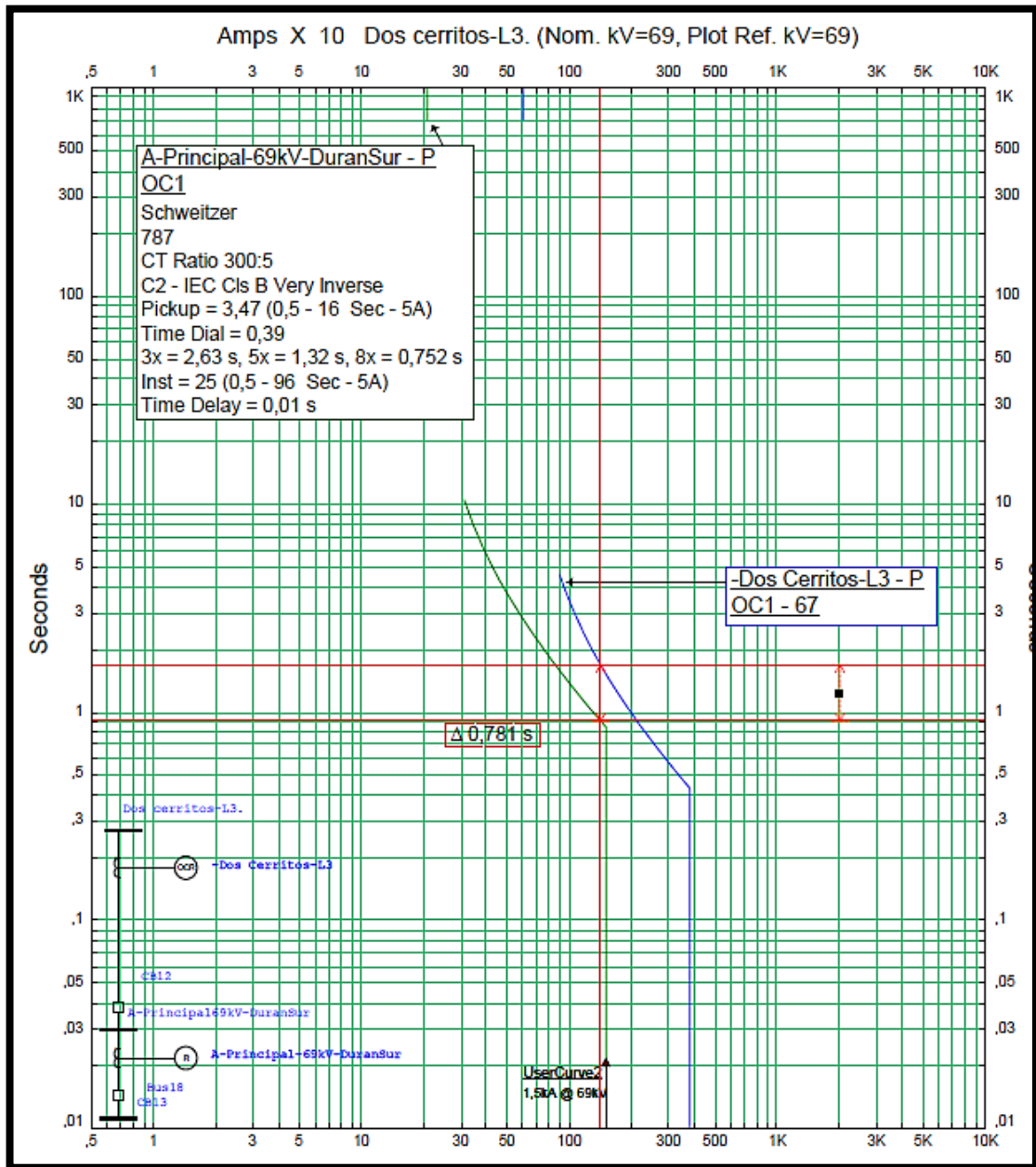


FIGURA 29 COORDINACIÓN EN FASE LA S/E DURAN SUR A Y LA S/E DOS CERRITOS

### 5.6.6. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E DURÁN SUR PATIO B Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC

Se puede observar en la figura 30 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Durán Sur existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

La función 50 F se la ajustó de acuerdo a la máxima corriente de cortocircuito trifásica en barra a 69 Kv de la S/E Durán Sur cuyo valor es de 1500 (A), en la tabla 36 se presenta el resumen del ajuste de la protección a 69 kV de la S/E Durán Sur patio B.

TABLA 36 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E DURAN SUR B

<b>S/E Durán Sur B</b>	
<b>Ajustes 51F</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	4,16 [A]
TC's	300/5
Dial(Td)	0,34
Curva	Muy Inversa (IEC)
<b>Ajustes 50F</b>	<b>Valores</b>
Ipick-up primario	2040 [A]
Ipick-up Secundario	34 [A]

En la tabla 36 se puede apreciar los ajustes de fase de las funciones 51 con un pick up secundario de 4.16 [A], la relación de los TC's es de 300/5 con un Dial de 0.34 y una curva muy inversa (IEC), y la función 50 con un pick up primario de 2040 [A] y un pick up secundario de 34 [A].

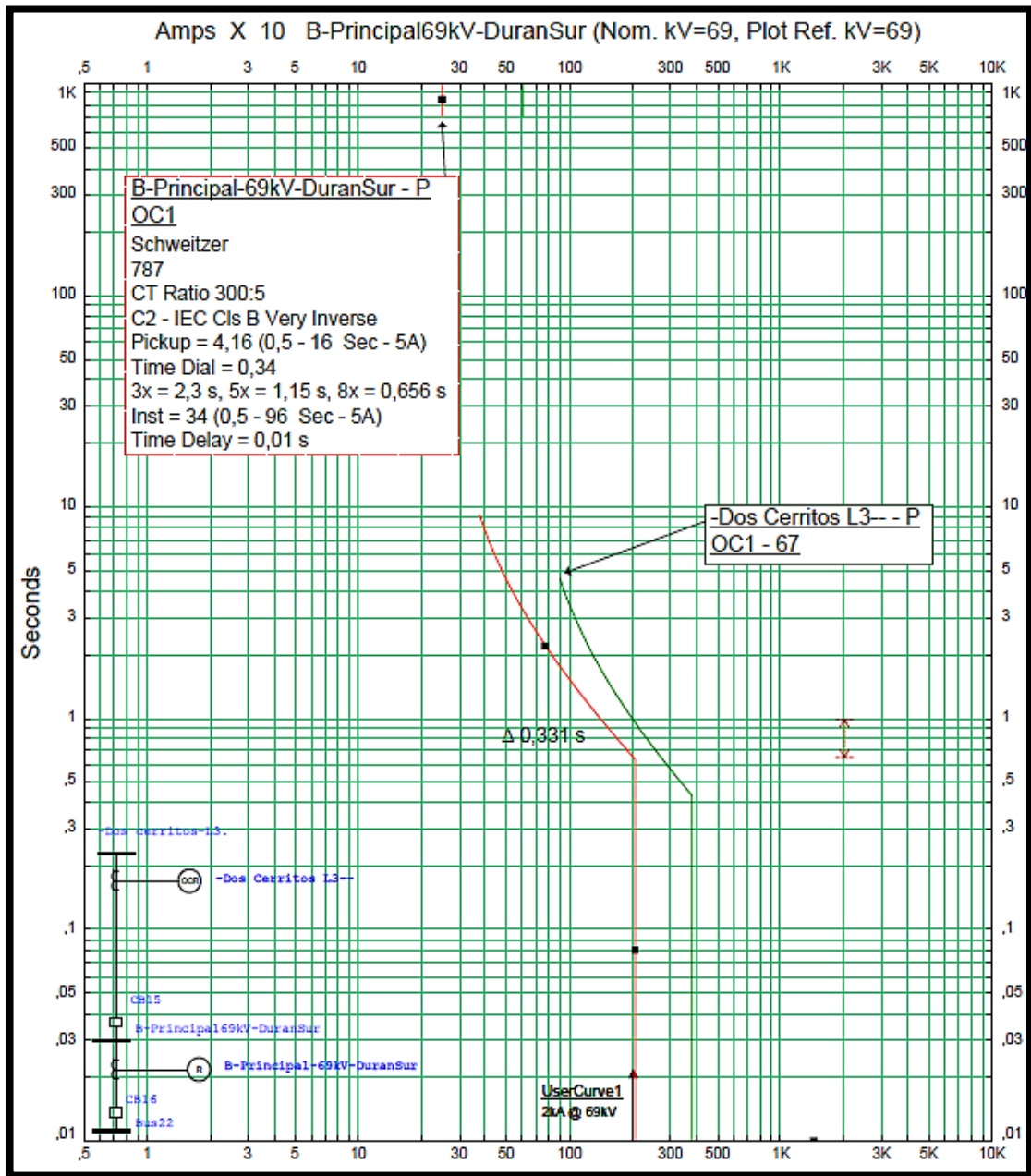


FIGURA 30 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E DURAN SUR B Y  
LA S/E DOS CERRITOS

### 5.6.6. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E OMARSA Y LA S/E DURÁN SUR

Se puede observar en la figura 31 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Omarsa existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

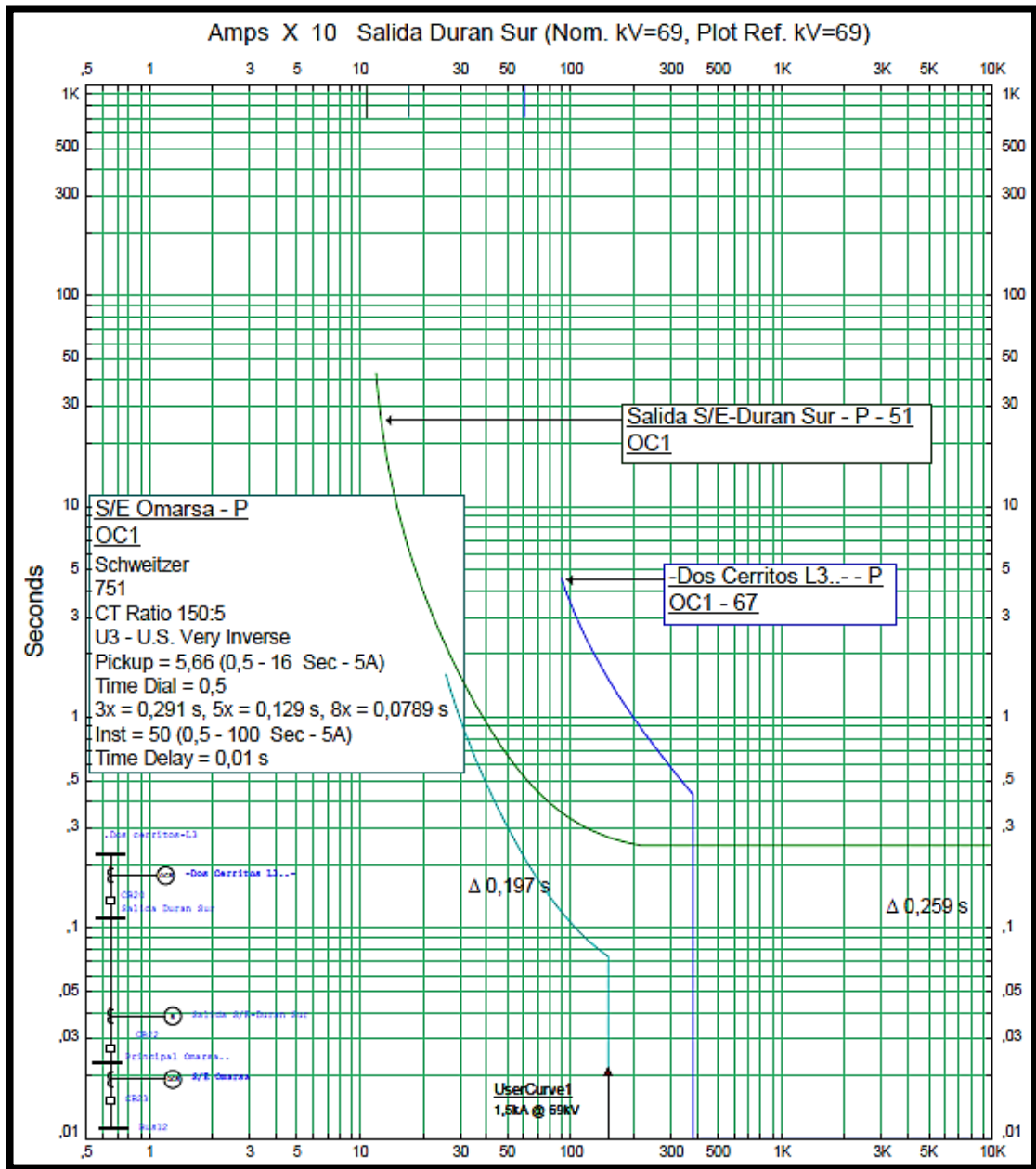
La función 50 F se la ajustó de acuerdo con la máxima corriente de cortocircuito trifásica en barra a 69 Kv de la S/E Omarsa cuyo valor es de 1500 (A), en la tabla 37 se presenta el resumen del ajuste de la protección a 69 kV de la S/E Omarsa.

TABLA 37 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E OMARSA

<b>S/E Omarsa</b>	
<b>Ajustes 51F</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	5,66 [A]
TC's	150/5
Dial(Td)	0,5
Curva	Muy Inversa (ANSI)
<b>Ajustes 50F</b>	<b>Valores</b>
Ipick-up primario	1500 [A]
Ipick-up Secundario	50 [A]



En la tabla 37 se puede apreciar los ajustes de fase de las funciones 51 con un pick up secundario de 5.66 [A], la relación de los TC's es de 150/5 con un Dial de 0.5 y una curva muy inversa (ANSI), y la función 50 con un pick up primario de 1500 [A] y un pick up secundario de 50 [A].



**FIGURA 31 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E OMARSA Y LA S/E DOS CERRITOS**

## **5.7. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN NEUTRO DE LA LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN L3.**

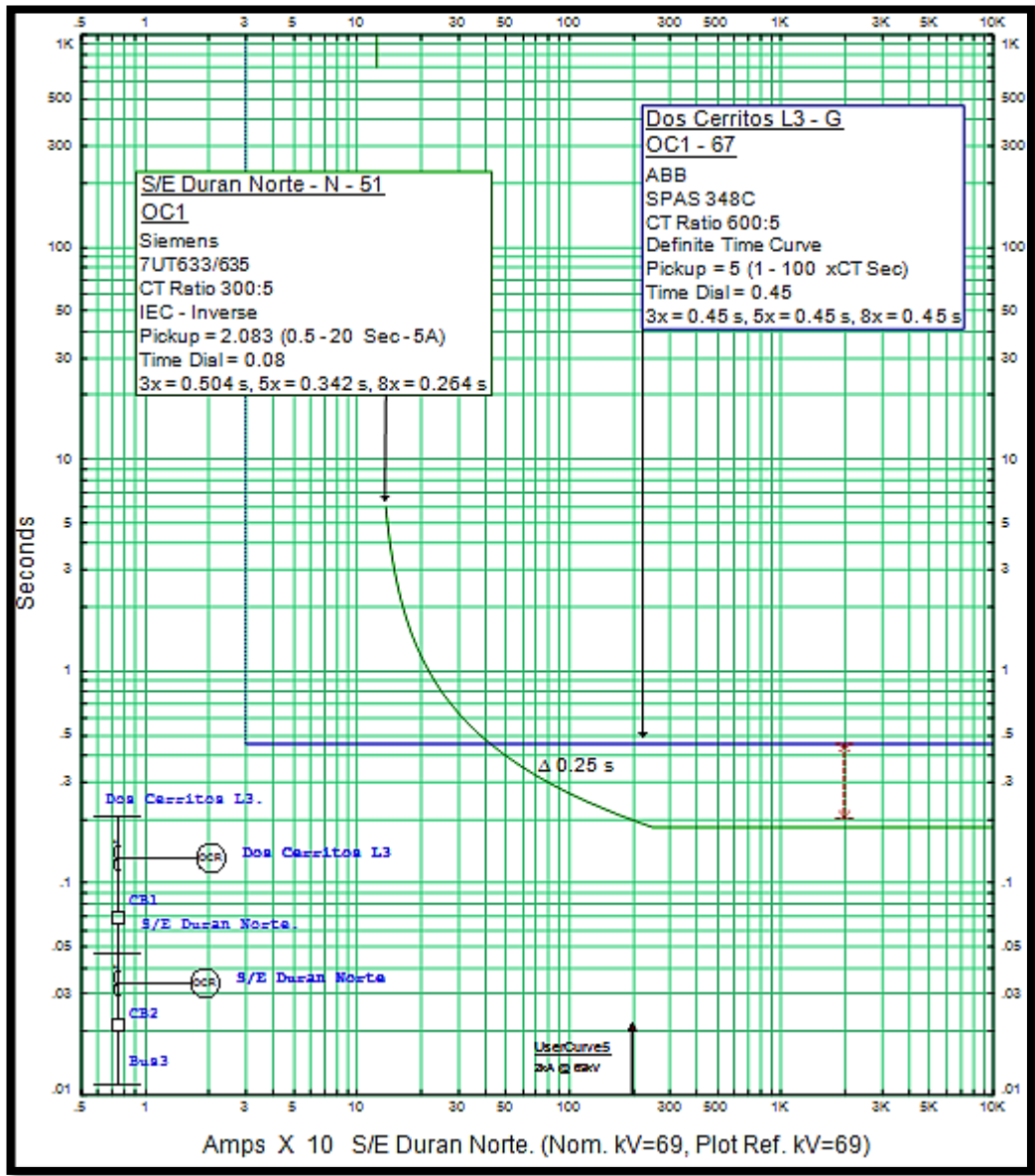
### **5.7.1. COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E DURÁN NORTE Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC**

Se puede observar en la figura 32 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Durán Norte existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

**TABLA 38 RESUMEN DE AJUSTES DE NEUTRO DE LA S/E DURAN NORTE**

<b>S/E Durán Norte</b>	
<b>Ajustes 51N</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	2.083 [A]
TC's	300/5
Dial(Td)	0,08
Curva	Inversa(IEC)

En la tabla 38 se puede apreciar los ajustes de neutro de la función 51 con un pick up secundario de 2.083 [A], la relación de los TC's es de 300/5 con un Dial de 0.08 y una curva inversa (IEC).



**FIGURA 32 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E DURAN NORTE Y LA S/E DOS CERRITOS**

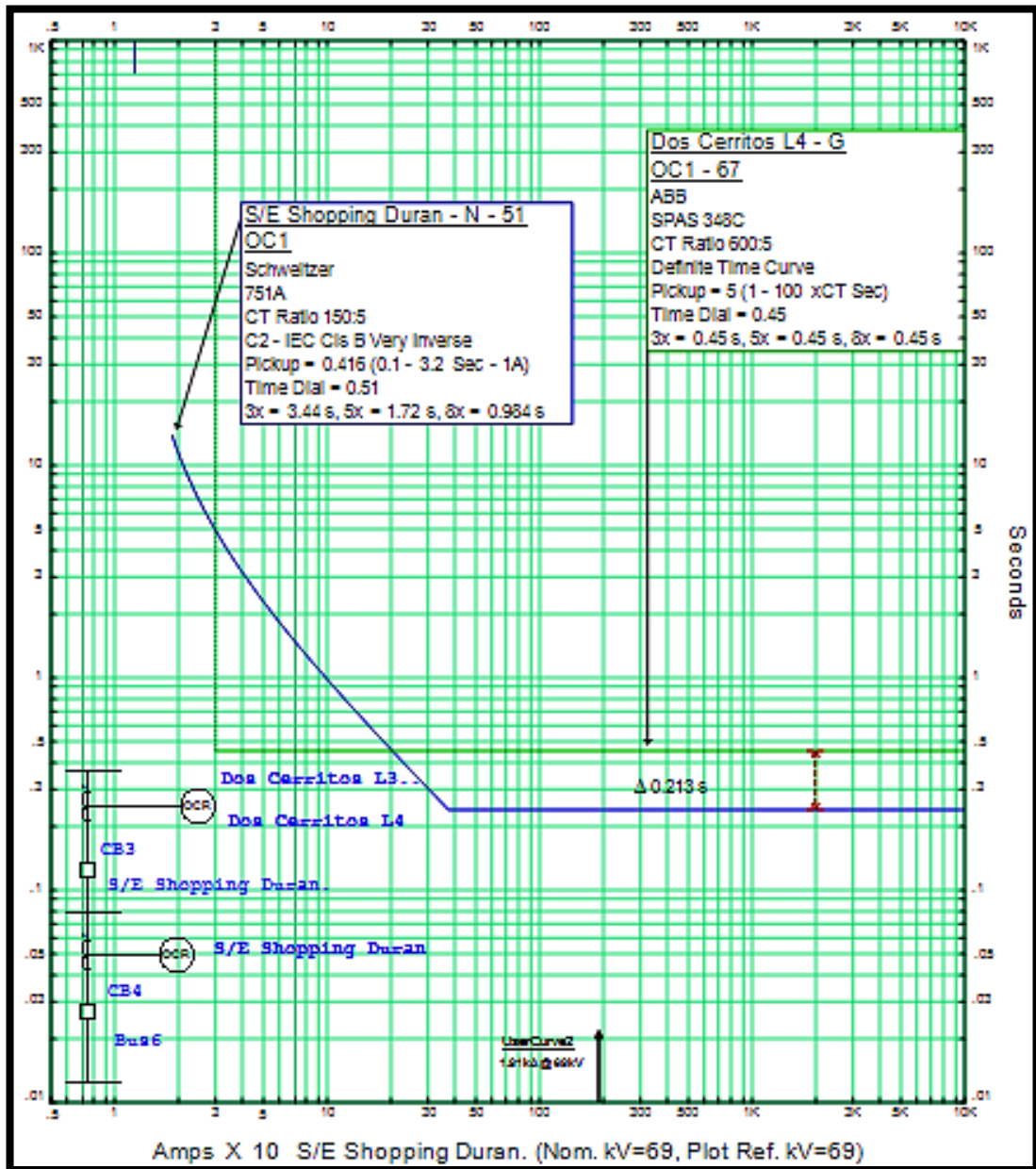
### **5.7.2. COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E SHOPPING DE DURÁN Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC.**

Se puede observar en la figura 33 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Shopping de Durán existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

**TABLA 39 RESUMEN DE AJUSTES DE LA S/E SHOPPING DE DURAN**

<b>S/E Shopping de Durán</b>	
<b>Ajustes 51N</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	0,415 [A]
TC's	150/5
Dial(Td)	0,51
Curva	Muy Inversa(IEC)

En la tabla 39 se puede apreciar los ajustes de neutro de la función 51 con un pick up secundario de 0.415 [A], la relación de los TC's es de 150/5 con un Dial de 0.51 y una curva muy inversa (IEC).



**FIGURA 33 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E SHOPPING DE DURAN Y LA S/E DOS CERRITOS**

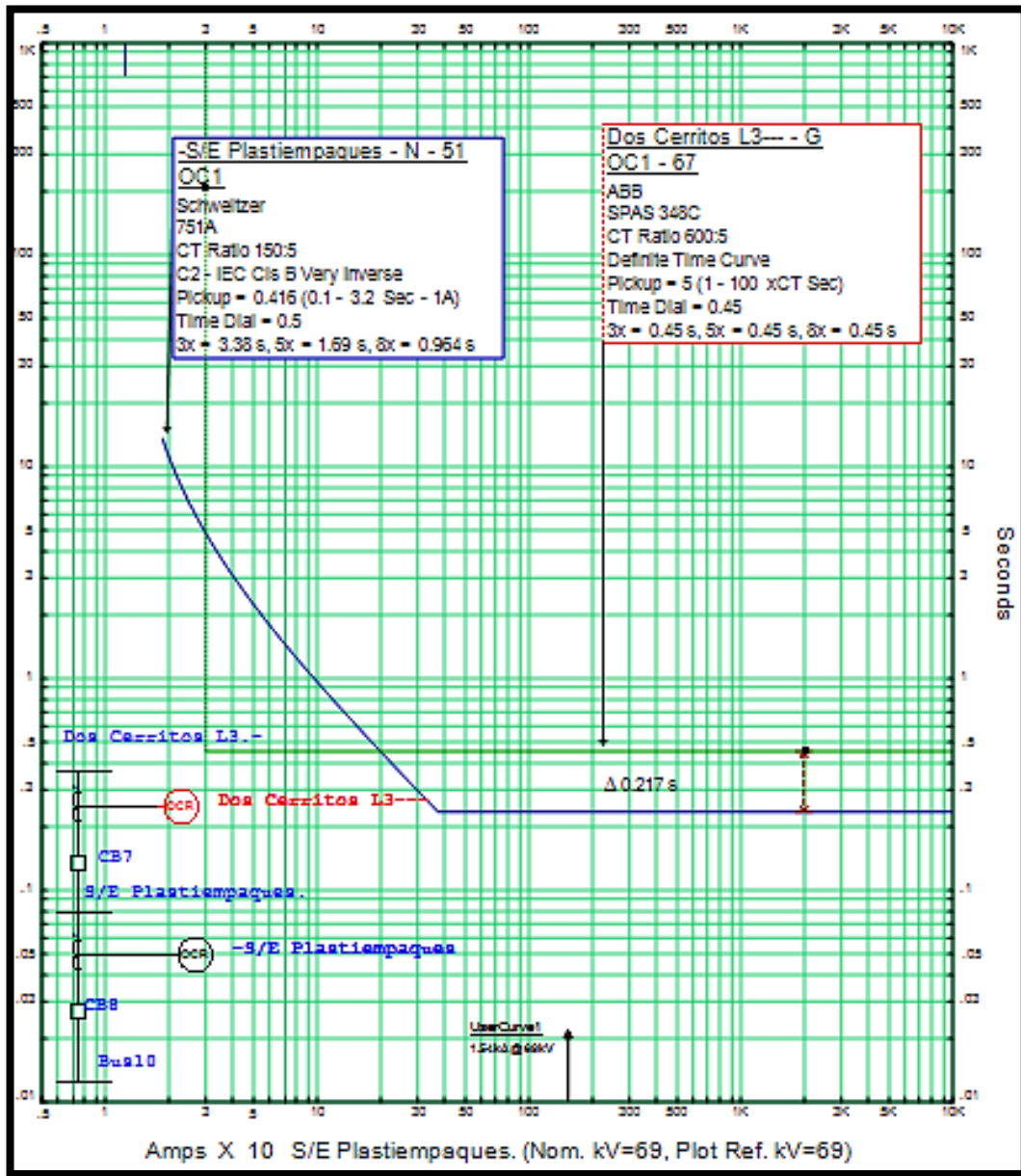
### 5.7.3. COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E PLASTIEMPAQUES Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC.

Se puede observar en la figura 34 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Plastiempques existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

TABLA 40 RESUMEN DE AJUSTE DE NEUTRO DE LA S/E PLASTIEMPAQUES

<b>S/E Plastiempques</b>	
<b>Ajustes 51N</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	0,416 [A]
TC's	150/5
Dial(Td)	0,5
Curva	Muy Inversa(IEC)

En la tabla 40 se puede apreciar los ajustes de neutro de la función 51 con un pick up secundario de 0.416 [A], la relación de los TC's es de 150/5 con un Dial de 0.5 y una curva inversa (IEC).



**FIGURA 34 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E PLASTIEMPAQUES Y LA S/E DOS CERRITOS**



#### 5.7.4. COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E POLIGRÁFICA Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC

Se puede observar en la figura 35 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Poligráfica existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

TABLA 41 RESUMEN DE AJUSTES DE NEUTRO DE LA S/E POLIGRÁFICA

<b>S/E Poligráfica</b>	
<b>Ajustes 51N</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	0,416 [A]
TC's	150/5
Dial(Td)	0,37
Curva	Muy Inversa (IEC)

En la tabla 41 se puede apreciar los ajustes de neutro de la función 51 con un pick up secundario de 0.416 [A], la relación de los TC's es de 150/5 con un Dial de 0.37 y una curva inversa (IEC).

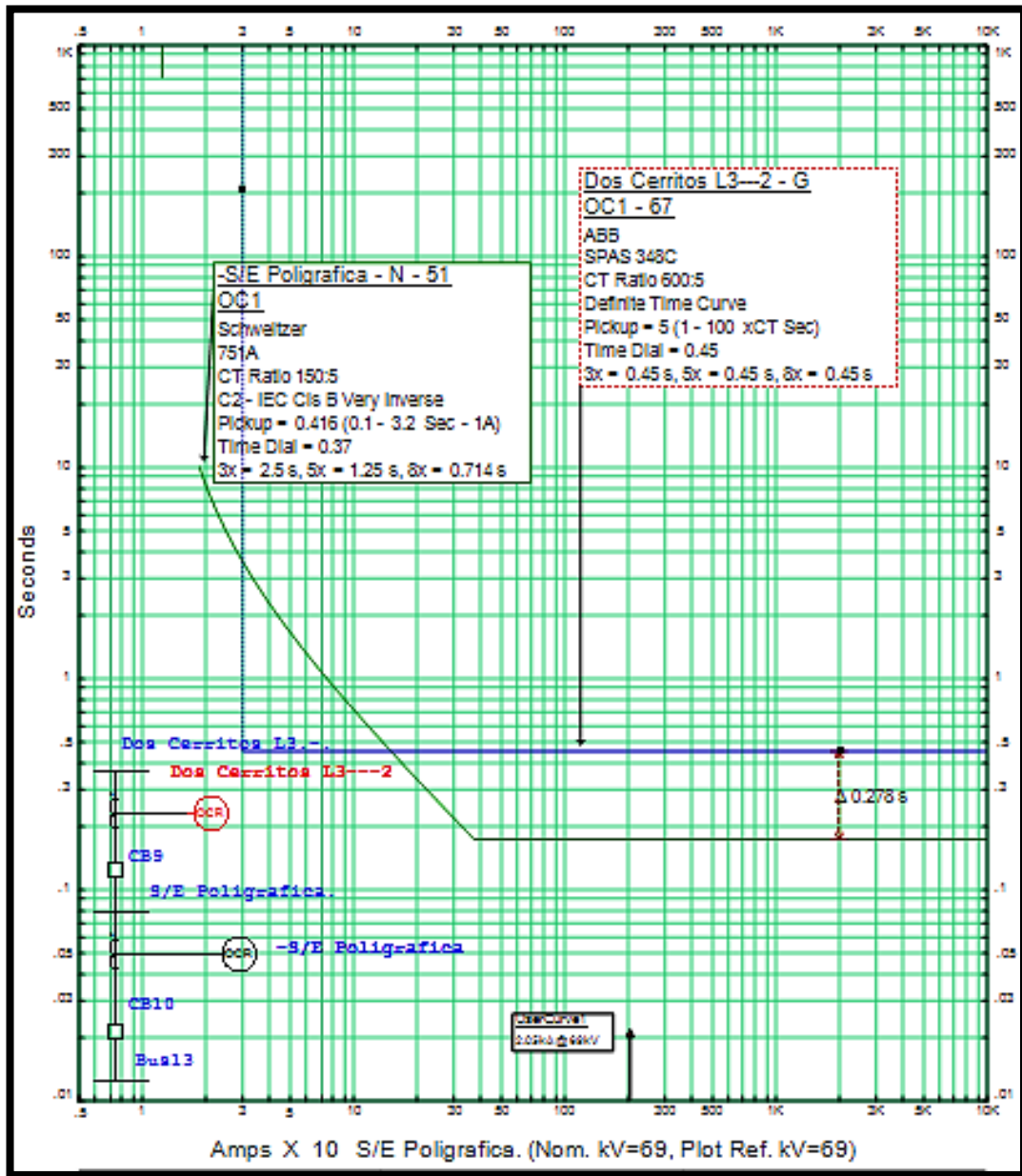


FIGURA 35 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E POLIGRAFICA Y LA S/E DOS CERRITOS

### 5.7.5. COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E DURÁN SUR PATIO A Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC.

Se puede observar en la figura 36 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Durán Sur existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

TABLA 42 RESUMEN DE AJUSTES DE NEUTRO DE LA S/E DURAN SUR A

<b>S/E Durán Sur A</b>	
<b>Ajustes 51N</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	1,73 [A]
TC's	300/5
Dial(Td)	0,76
Curva	Moderadamente Inversa (ANSI)

En la tabla 42 se puede apreciar los ajustes de neutro de la función 51 con un pick up secundario de 1.73 [A], la relación de los TC's es de 300/5 con un Dial de 0.76 y una curva moderadamente inversa (ANSI).

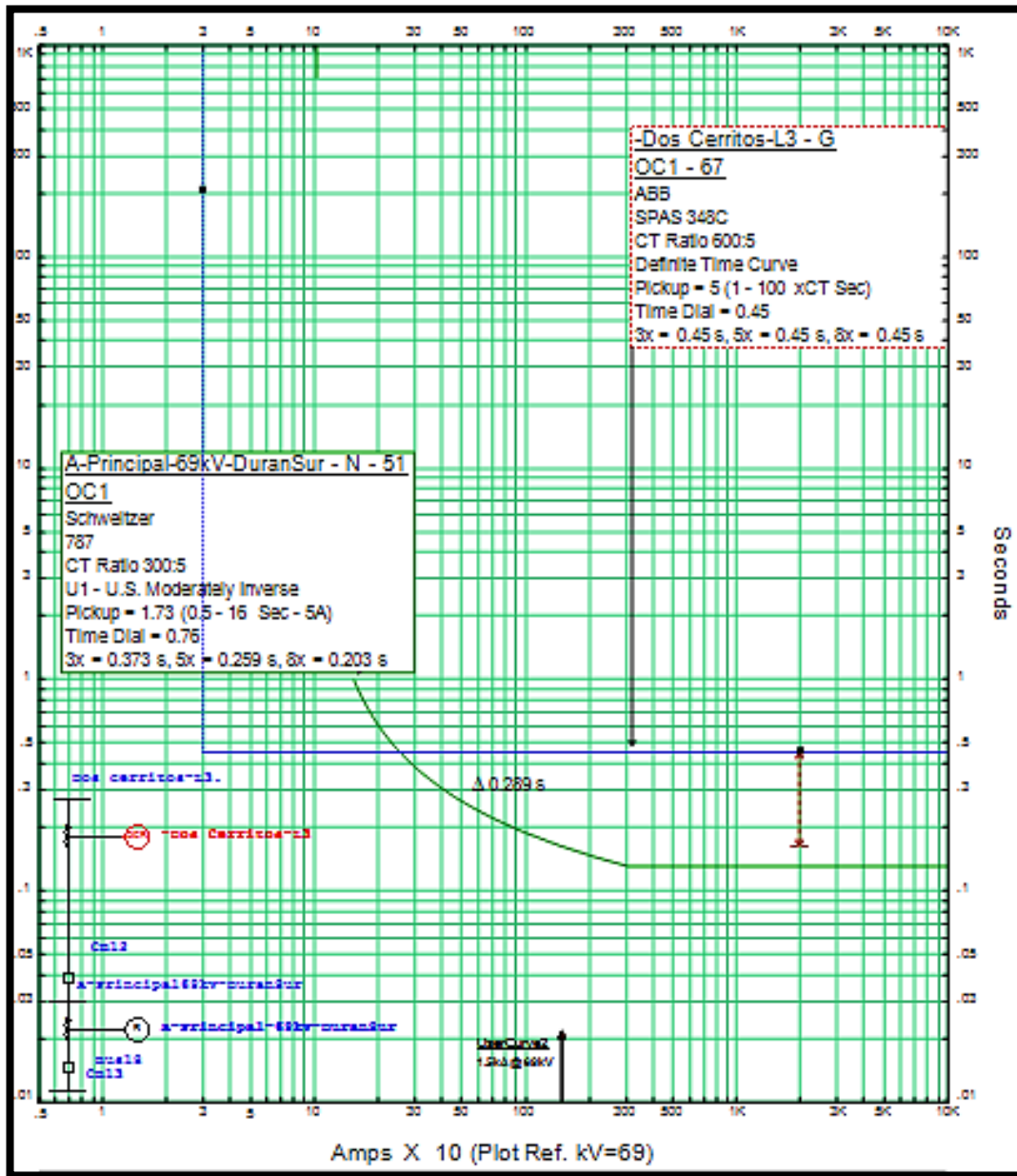


FIGURA 36 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E DURAN SUR A Y LA S/E DOS CERRITOS

### 5.7.6. COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E DURÁN SUR PATIO B Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC.

Se puede observar en la figura 37 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Durán Sur existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

TABLA 43 RESUMEN DE AJUSTES DE NEUTRO DE LA S/E DURAN SUR B

<b>S/E Durán Sur B</b>	
<b>Ajustes 51N</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	2,08 [A]
TC's	300/5
Dial(Td)	0,71
Curva	Inversa (ANSI)

En la tabla 43 se puede apreciar los ajustes de neutro de la función 51 con un pick up secundario de 2.08 [A], la relación de los TC's es de 300/5 con un Dial de 0.71 y una curva inversa (ANSI).

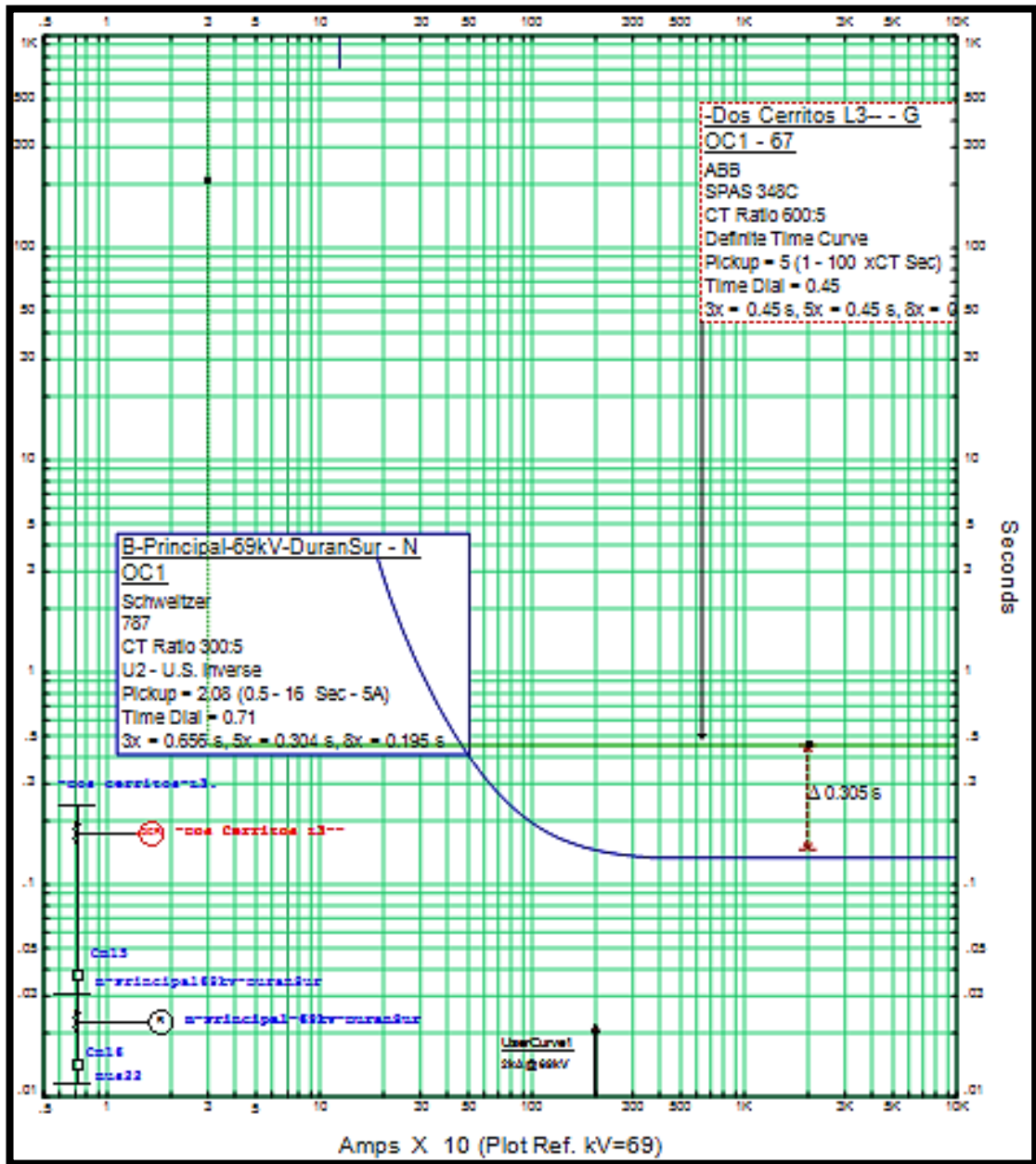


FIGURA 37 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E DURAN SUR B Y LA S/E DOS CERRITOS

### 5.7.7. COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E OMARSA Y LA S/E DURÁN SUR

Se puede observar en la figura 38 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Omarsa existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

TABLA 44 RESUMEN DE AJUSTES DE NEUTRO DE LA S/E OMARSA

<b>S/E Omarsa</b>	
<b>Ajustes 51N</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	1,08 [A]
TC's	150/5
Dial(Td)	0,05
Curva	Muy Inversa (IEC)

En la tabla 44 se puede apreciar los ajustes de neutro de la función 51 con un pick up secundario de 1.08 [A], la relación de los TC's es de 150/5 con un Dial de 0.05 y una curva muy inversa (IEC).

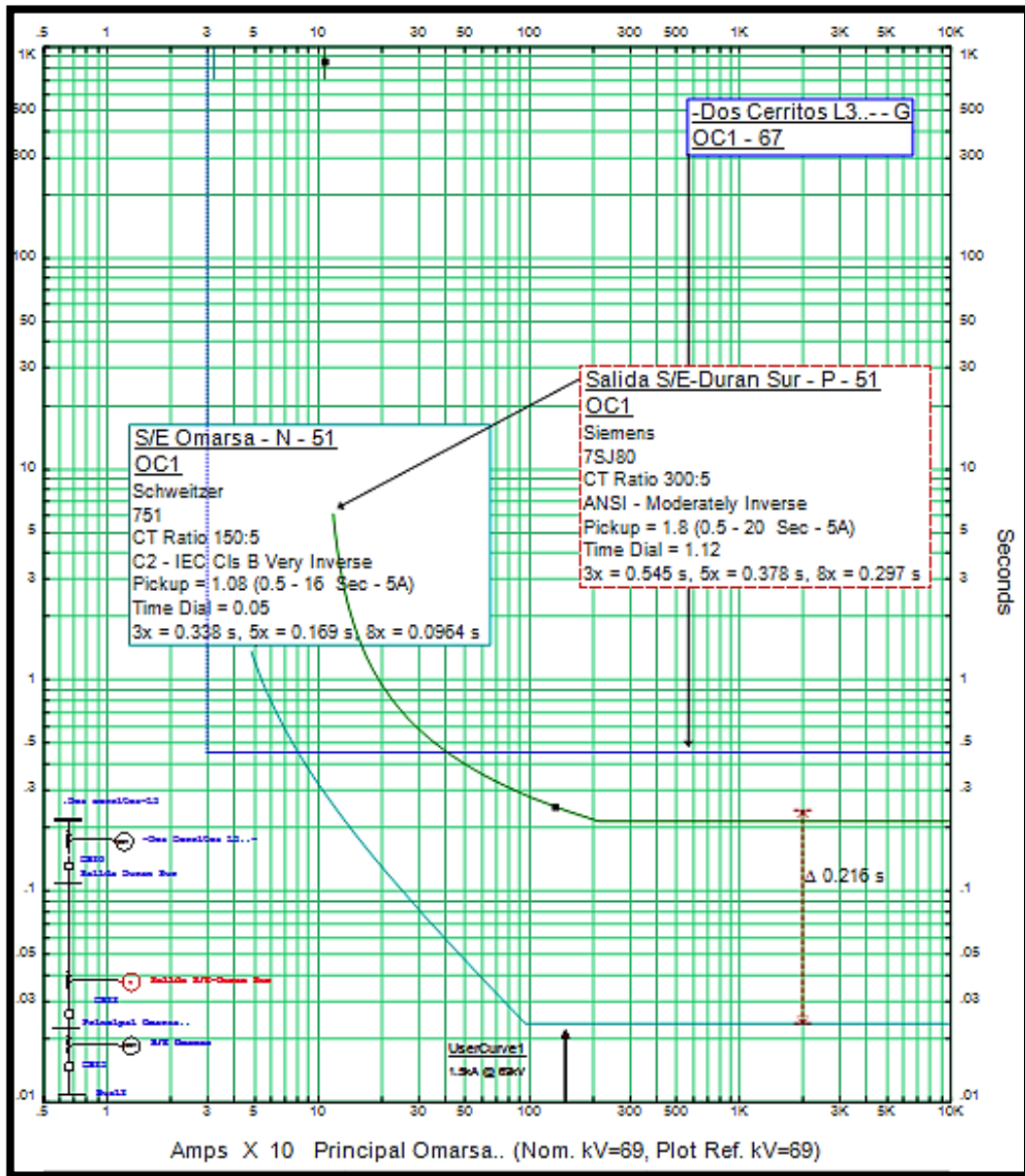


FIGURA 38 COORDINACIÓN EN NEUTRO ENTRE LA S/E OMARSA Y LA S/E DOS CERRITOS



## **5.8. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN FASE DE LA LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN L4.**

### **5.8.1. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E EL RECREO Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC**

Se puede observar en la figura 39 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E El Recreo existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

La función 50 F se la ajustó de acuerdo a la máxima corriente de cortocircuito trifásica en barra a 69 Kv de la S/E El Recreo cuyo valor es de 1500 (A), en la tabla 45 se presenta el resumen del ajuste de la protección a 69 kV de la S/E El Recreo.

TABLA 45 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E EL RECREO.

<b>S/E El Recreo</b>	
<b>Ajustes 51F</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	4.17 [A]
TC's	300/5
Dial(Td)	0,44
Curva	Muy Inversa(IEC)
<b>Ajustes 50F</b>	<b>Valores</b>
Ipick-up Secundario	25 [A]

En la tabla 45 se puede apreciar los ajustes de fase de las funciones 51 con un pick up secundario de 4.17 [A], la relación de los TC's es de 300/5 con un Dial de 0.44 y una curva muy inversa (IEC), y la función 50 con un pick up secundario de 25 [A].

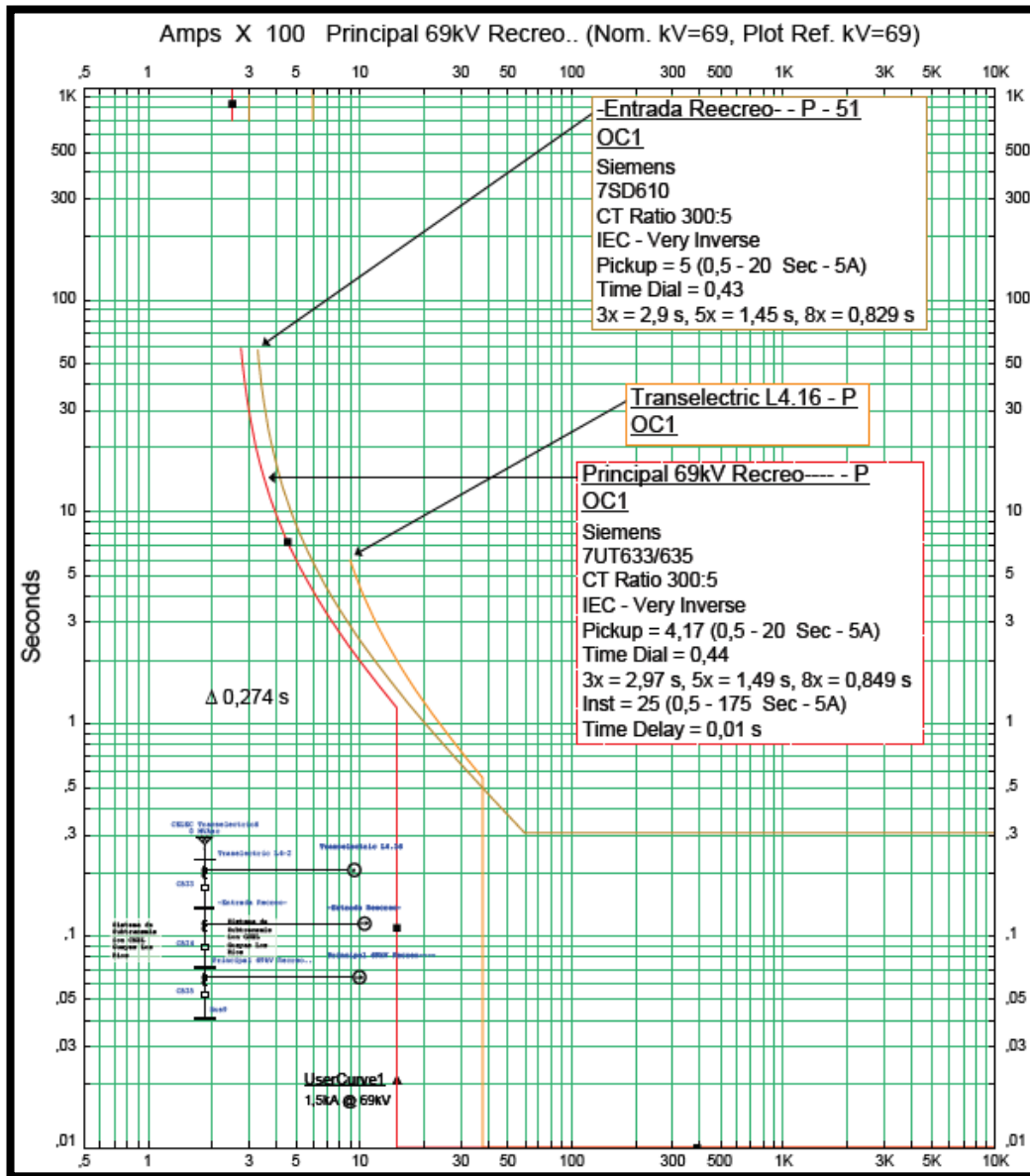


FIGURA 39 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E EL RECREO Y LA S/E DOS CERRITOS

**5.8.2. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E ALIMENTSA Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC.**

Se puede observar en la figura 40 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Alimentsa existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

La función 50 F se la ajustó de acuerdo a la máxima corriente de cortocircuito trifásica en barra a 69 Kv de la S/E Alimentsa cuyo valor es de 1340 (A), en la tabla 46 se presenta el resumen del ajuste de la protección a 69 kV de la S/E Alimentsa.

TABLA 46 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E ALIMENTSA.

<b>S/E Alimentsa</b>	
<b>Ajustes 51F</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	1,63 [A]
TC's	200/5
Dial(Td)	8,43
Curva	Muy Inversa(ANSII)
<b>Ajustes 50F</b>	<b>Valores</b>
Ipick-up Secundario	32,5[A]

En la tabla 46 se puede apreciar los ajustes de fase de las funciones 51 con un pick up secundario de 1.63 [A], la relación de los TC's es de 200/5 con un Dial de 8.43 y una curva muy inversa (ANSI), y la función 50 con un pick up secundario de 32.5 [A].

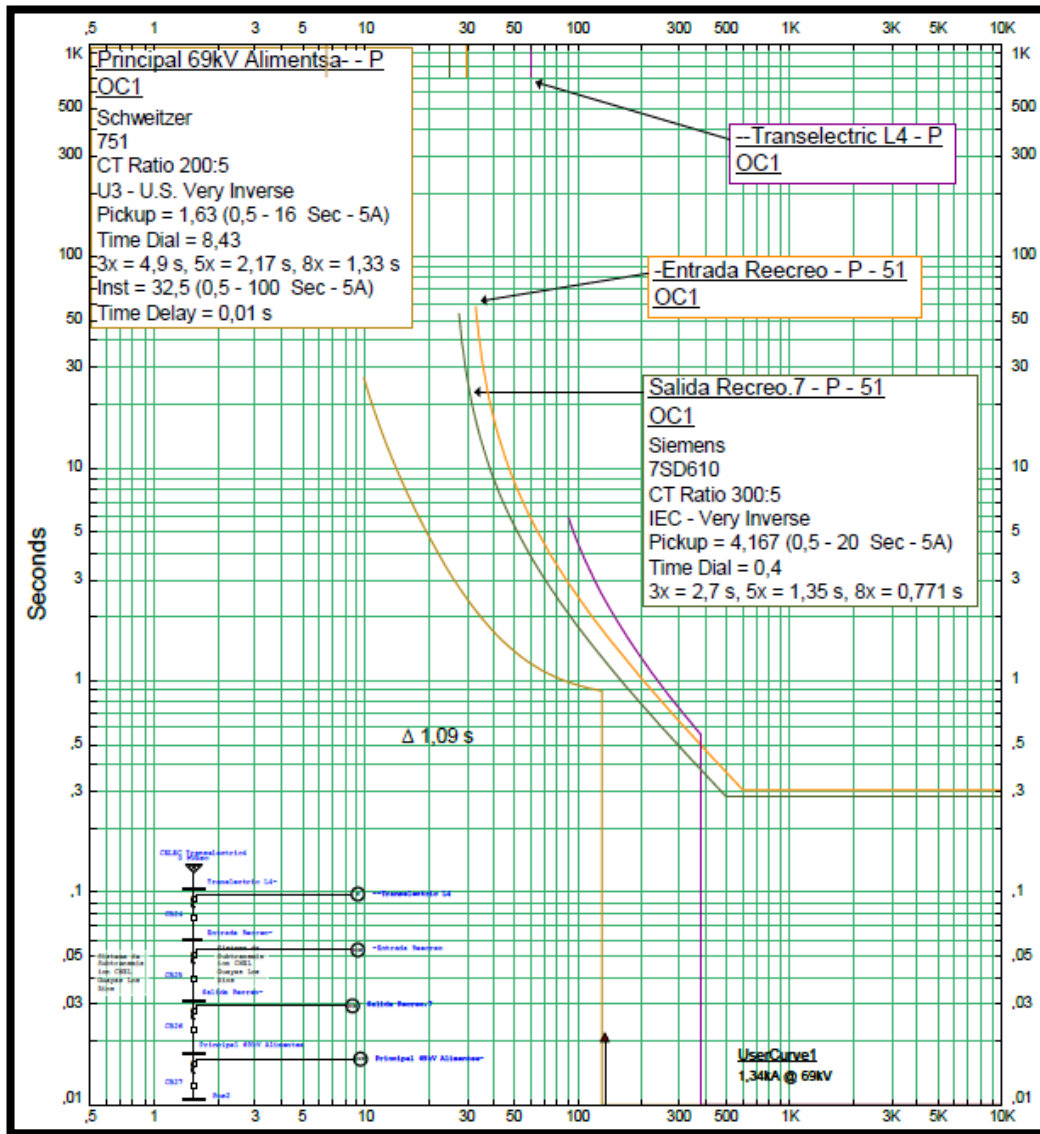


FIGURA 40 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E ALIMENTSA Y LA S/E DOS CERRITOS.

### 5.8.3. COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E SURPAPEL Y LA S/E DOS CERRITOS DE TRANSELECTRIC.

Se puede observar en la figura 41 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Surpapel existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

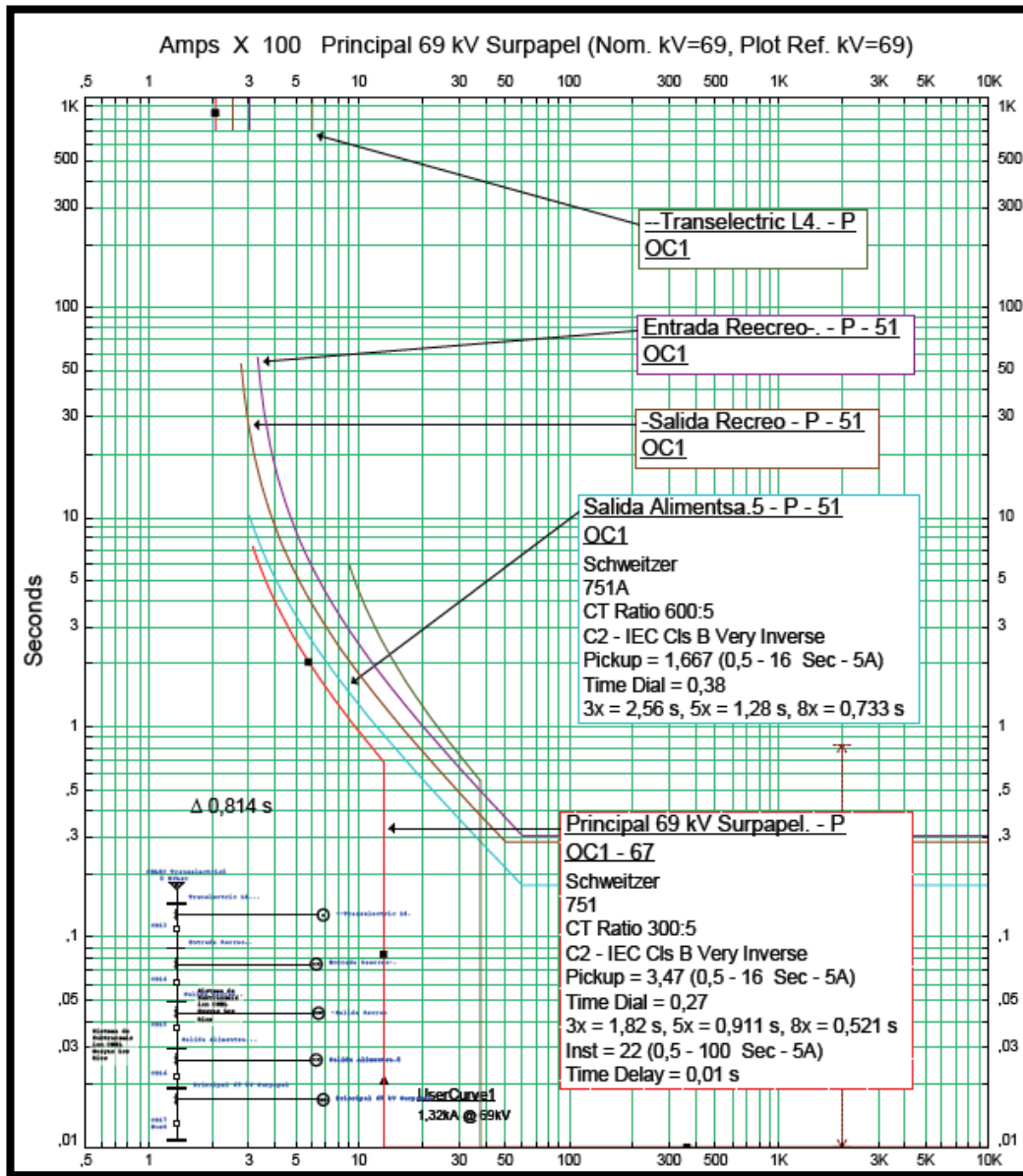
La función 50 F se la ajustó de acuerdo a la máxima corriente de cortocircuito trifásica en barra a 69 Kv de la S/E Surpapel cuyo valor es de 1340 (A), en la tabla 46 se presenta el resumen del ajuste de la protección a 69 kV de la S/E Surpapel.

TABLA 47 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E SURPAPEL

<b>S/E Surpapel</b>	
<b>Ajustes 51F</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	3,47 [A]
TC's	300/5
Dial(Td)	0,27
Curva	Muy Inversa(IEC)
<b>Ajustes 50F</b>	<b>Valores</b>
Ipick-up Secundario	22 [A]

En la tabla 47 se puede apreciar los ajustes de fase de las funciones 51 con un pick up secundario de 3.47 [A], la relación de los TC's es de 300/5 con un Dial de 0.27 y una curva muy inversa (IEC), y la función 50 con un pick up secundario de 22 [A].





**FIGURA 41 COORDINACIÓN EN FASE ENTRE LA S/E SURPAPEL Y LA S/E DOS CERRITOS**

## 5.9. Coordinación de Protecciones Eléctricas en Neutro de la Línea de Subtransmisión L4.

### 5.9.1. Coordinación de Neutro entre la S/E Recreo y la S/E Dos Cerritos de Transelectric

Se puede observar en la figura 42 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/Recreo existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

TABLA 48 RESUMEN DE AJUSTES DE NEUTRO DE LA S/E EL RECREO

<b>S/E El Recreo</b>	
<b>Ajustes 51N</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	2.08 [A]
TC's	300/5
Dial(Td)	0.5
Curva	Muy Inversa (IEC)

En la tabla 48 se puede apreciar los ajustes de neutro de la función 51 con un pick up secundario de 2.08 [A], la relación de los TC's es de 300/5 con un Dial de 0.5 y una curva muy inversa (IEC).

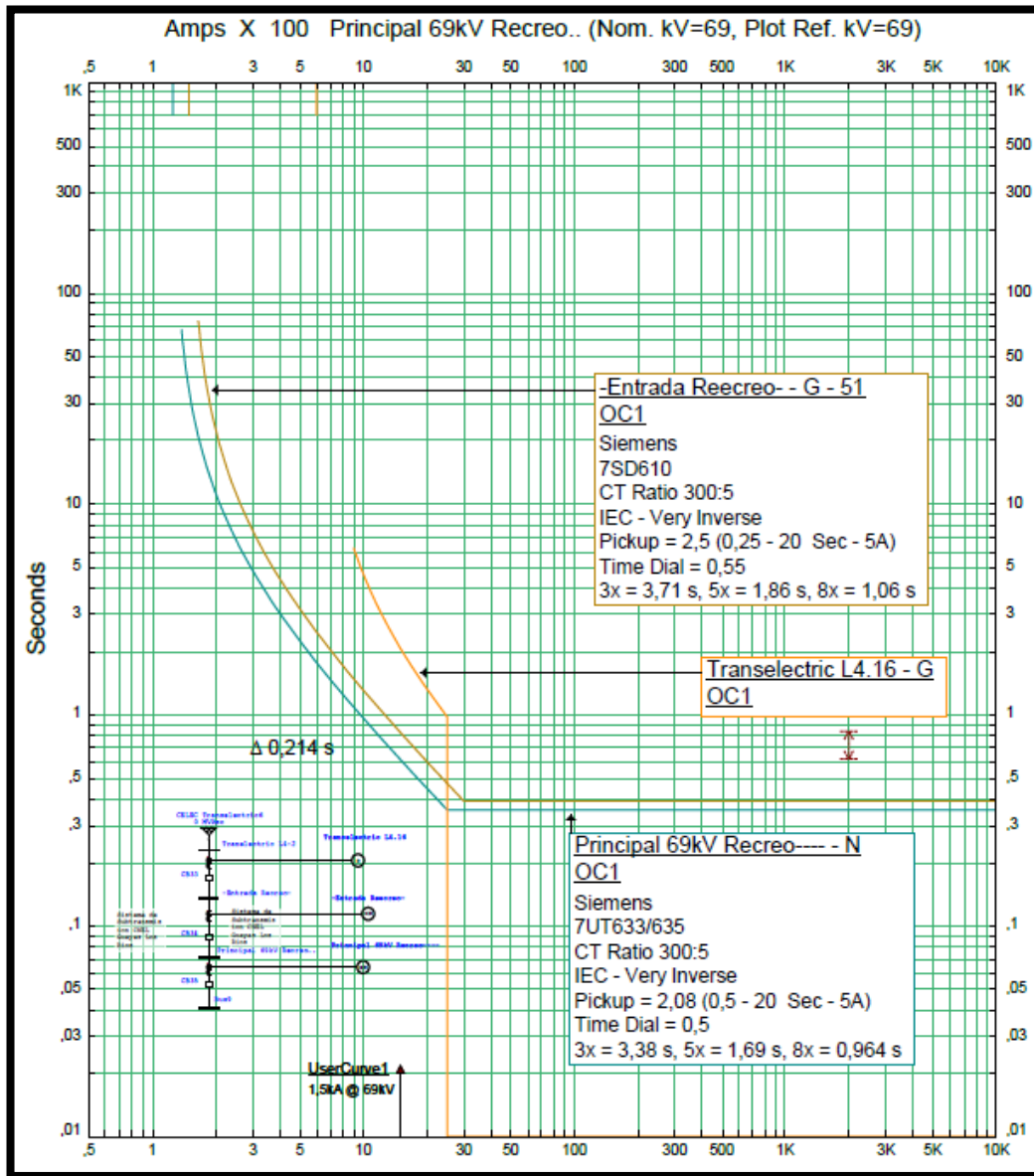


FIGURA 42 COORDINACIÓN NEUTRO ENTRE LA S/E EL RECREO Y LA S/E DOS CERRITOS

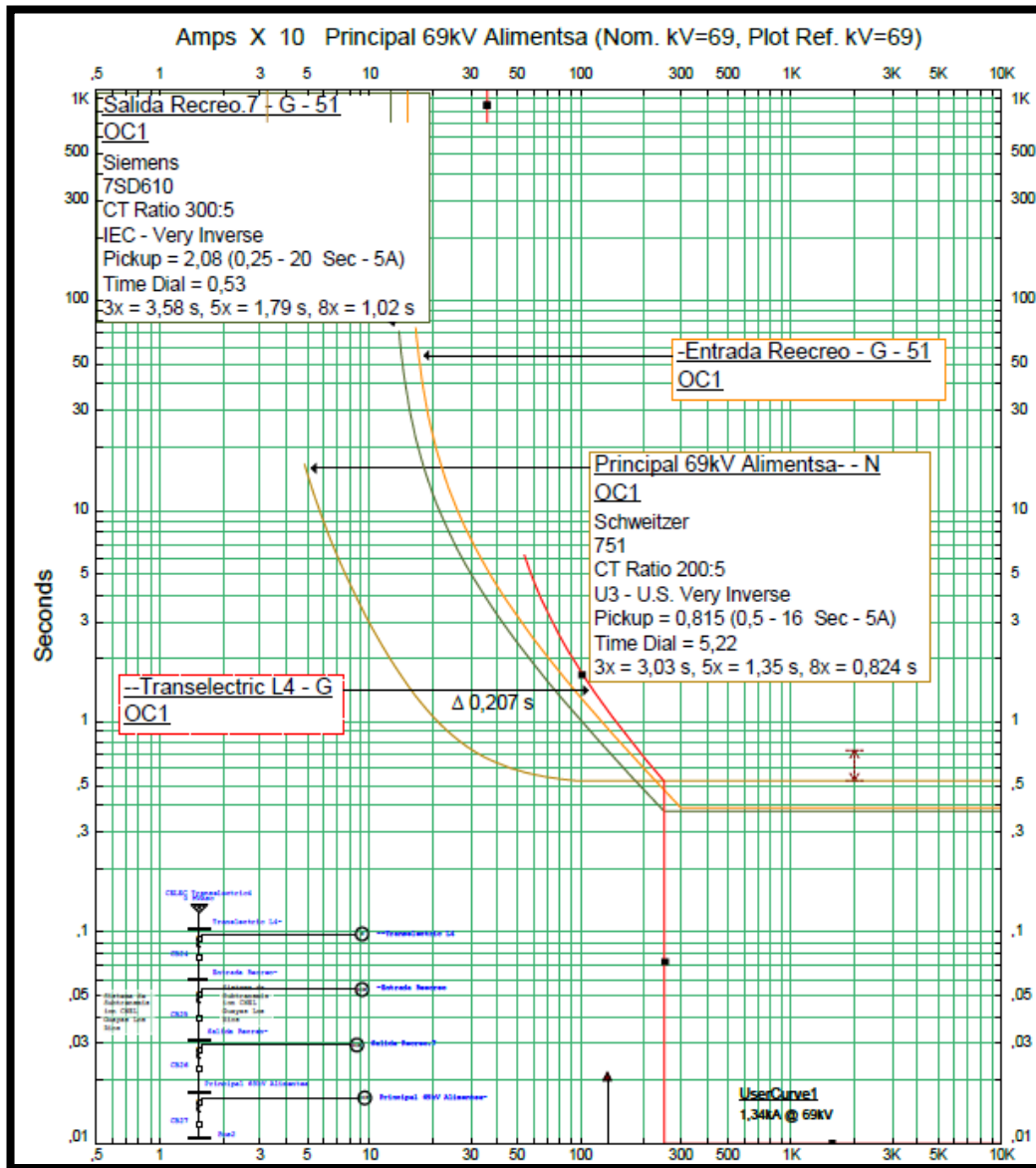
### 5.9.2. Coordinación de Neutro entre la S/E Recreo y la S/E Alimentosa.

Se puede observar en la figura 43 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Alimentosa existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

TABLA 49 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E ALIMENTSA

<b>S/E Alimentosa</b>	
<b>Ajustes 51N</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	0.415 [A]
TC's	150/5
Dial(Td)	0,51
Curva	Muy Inversa (IEC)

En la tabla 49 se puede apreciar los ajustes de neutro de la función 51 con un pick up secundario de 0.415 [A], la relación de los TC's es de 150/5 con un Dial de 0.51 y una curva muy inversa (IEC).



**FIGURA 43 COORDINACIÓN NEUTRO ENTRE LA S/E EL RECREO Y LA S/E ALIMENTSA**

### 5.9.3. Coordinación de Neutro entre la S/E Alimentsa y la S/E Surpapel.

Se puede observar en la figura 44 que al momento de presentarse una falla igual o menor a la magnitud de la corriente de falla en barra a 69 kV de la S/E Surpapel existe un tiempo mayor a los 0,2 segundos garantizando la selectividad.

TABLA 50 RESUMEN DE AJUSTES DE FASE DE LA S/E SURPAPEL

<b>S/E Surpapel</b>	
<b>Ajustes 51N</b>	<b>Valores</b>
I pick-up secundario	1.74 [A]
TC's	300/5
Dial(Td)	0,27
Curva	Muy Inversa (IEC)

En la tabla 50 se puede apreciar los ajustes de neutro de la función 51 con un pick up secundario de 1.74 [A], la relación de los TC's es de 300/5 con un Dial de 0.27 y una curva muy inversa (IEC).

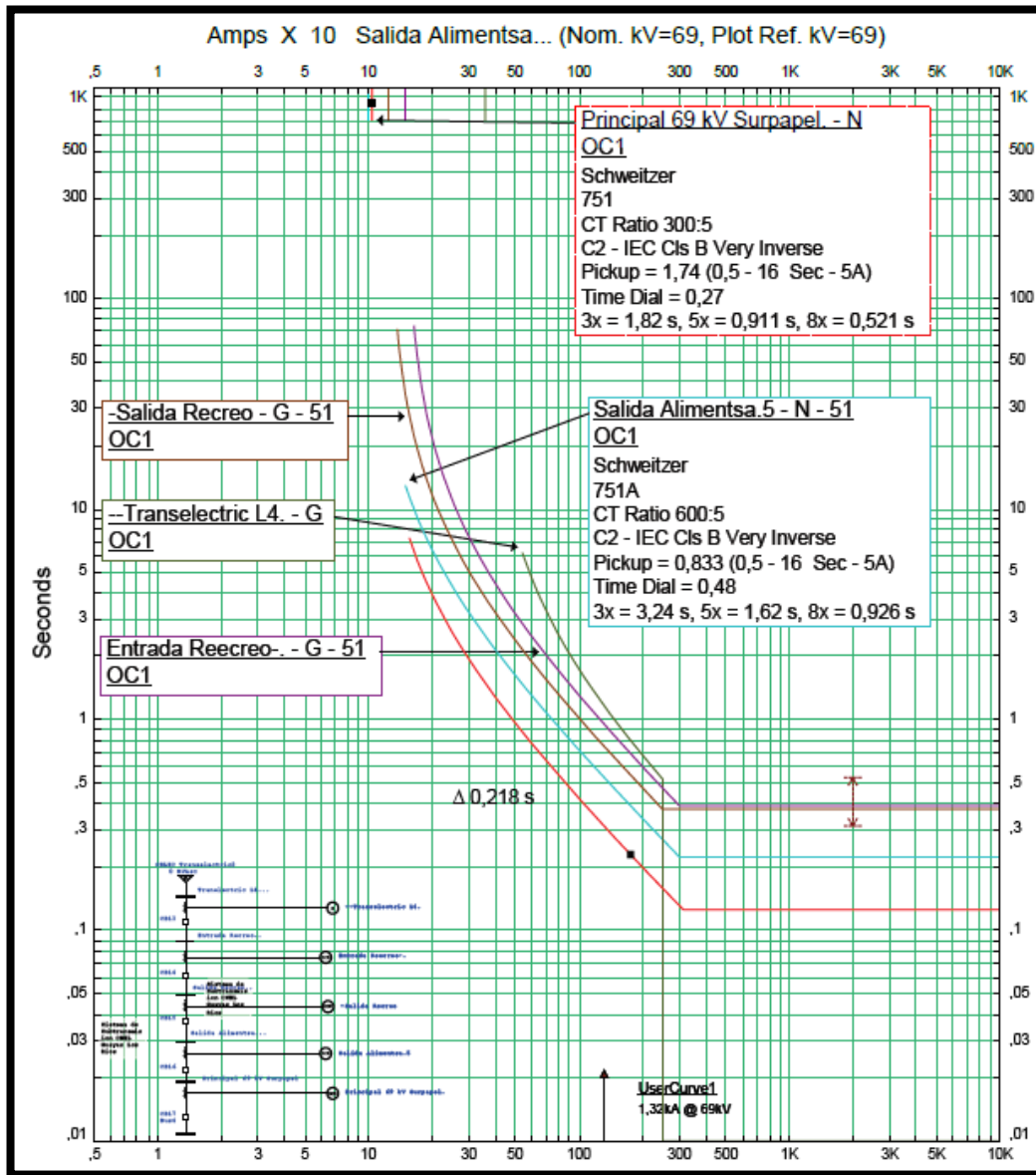


FIGURA 44 COORDINACIÓN NEUTRO ENTRE LA S/E ALIMENTASA Y LA S/E SURPAPEL

## **CAPITULO VI**

### **CONCLUSIONES**

-La función de protección de sobrecorriente para el presente caso de análisis (red radial) satisface las necesidades de protección del sistema, pero la proyección a futuro contempla la migración a una red tipo anillo; para este caso es limitada, ya que no permite el sentido del flujo de corriente debido a las múltiples fuentes de alimentación que la red tenga.

-La función instantánea (50) acciona de manera inmediata la protección más cercana al punto de falla, evitando así daños severos en los equipos y mejorando la coordinación de protecciones; una de sus desventajas es que no puede trabajar como función única, es decir debe trabajar en conjunto con la protección 51 para garantizar la óptima coordinación de protecciones.

-Se realizó el estudio de coordinación de protecciones en las líneas L3 y L4 de la subestación Dos cerritos en el cantón Durán Provincia del Guayas, estas líneas de transmisión alimentan al 100% de la población de Durán e importantes industrias como Plastiempques, Omarsa, Poligráfica, Alimentosa, Surpapel, SanMidec y Shopping de Duran, debido a esta gran demanda se realizó la coordinación de protecciones para garantizar así la continuidad del servicio; y se implementaron nuevas propuestas para protección de equipos dentro de las subestaciones.

-Se realizó la coordinación de protecciones en un sistema radial en las líneas de transmisión L3 y L4 de la subestación Duran Sur y se verificó que las corrientes de cortocircuitos sean despejadas oportunamente por las funciones 50/51.



## **RECOMENDACIONES**

-Se recomienda usar una función 67/67N ya que permite redireccionar la corriente.

-Se recomienda usar una función más confiable 87L con su restricción de elevado costo y la implementación de fibra para la comunicación de los relés en los extremos.

-Se recomienda que las subestaciones que vayan a unirse a futuro a estos alimentadores deben tener función 67 y 87L como requisito principal, para no cambiar la configuración de la red, sino solo migrar los equipos.

-Se recomienda que Cnel-Ep exija a las subestaciones privadas que tengan un interruptor de protección.

-Se recomienda a quien desee ampliar este trabajo de titulación, realice la coordinación de protecciones incorporando al diagrama unifilar los respectivos interruptores de protección en las subestaciones privadas.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] K. Nagrath, *Sistemas Eléctricos de Potencia*, 3era edición, 2015.
- [2] J. Blackburn y Tomas. J Domin, *Protective Relaying Principles and Applications*, Fourth Edition, 2014.
- [3] ETAP, *Guía del Usuario*, 2014.
- [4] ARCONEL, << Regulación No Arconel 004/15 Requerimientos Técnicos para la Conexión y Operación de Generadores Renovables No Convencionales a las redes de Transmisión y Distribución,>> 2015.
- [5] Samuel Ramírez Castaño, *Redes de Distribución de Energía*, 3era Edición, 2004.
- [6] ANSI Std Y32.2, *American National Standard Canadian Standard*, 1989.
- [7] IEEE Std 315, *Standard American National Graphic Symbols for Electrical and Electronics Diagrams*, 1975.
- [8] IEC Std 60617, *Graphical Symbols for Diagrams*, 2002.
- [9] Cnel Milagro, *Diagrama Unifilar de la s/e Marcelino Maridueña (Figura 9)*, 2015.
- [10] Samuel Ramírez Castaño, *Protecciones Eléctricas*, 1era edición, 2003.
- [11] Cooper Power System, *Electrical Distribution System Protection*, First Edition, 2005.
- [12] IEC Std 60909, *IEC Short Circuit Currents In Three Phase ac Systems*, 2016.
- [13] IEEE Std 242, *Protection and Coodination of Industrial and Commercial Power System*, 2001.

- [14] Margil Ramírez, << Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia,>> 2005.
- [15] Juan Antonio Yebra Morón, Sistemas Eléctricos de Potencia, 1era Edición, 2009.
- [16] Centelsa, “Cables de Aluminio Desnudo.” Pp. 175-188, 2017.
- [17] CONELEC, << Regulación No Conelec 004/01 Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución,>> 2001.
- [18] CONELEC, << Regulación No Conelec 009/99 Transacciones de Potencia Reactiva en el MEM,>> 1999.
- [19] IEEE Std C57.13-2016, IEEE Standard Requirements for Instrument Transformer, 2016.