

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**“IMPLEMENTACIÓN DE ESQUEMA DE PROTECCIONES DE DISTANCIA  
PARA NUEVO SERVICIO DE TRANSPORTE FERROVIARIO”**

**AUTORES: VÍCTOR ZAPATA ALIAGA**

**DANIEL LEAL ALVAREZ**

**SEMINARIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN ELECTRICIDAD**

**CONCEPCIÓN – CHILE**

**2015**

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**“IMPLEMENTACIÓN DE ESQUEMA DE PROTECCIONES DE DISTANCIA  
PARA NUEVO SERVICIO DE TRANSPORTE FERROVIARIO”**

PROFESOR GUÍA: FABRICIO IVÁN SALGADO DÍAZ

PROFESOR CORRECTOR: JUAN CARLOS DELGADO NAVARRO

PROFESOR CORRECTOR: JAVIER RIEDEMANN AROS

CONCEPCIÓN – CHILE

2015

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	5
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>OBJETIVOS</b> .....	7
<b>CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES UTILIZADOS</b> .....	8
<b>1.1.- Introducción</b> .....	8
<b>1.2.- Líneas de Transmisión</b> .....	10
<b>1.3.- Transformadores</b> .....	11
<b>1.4.- Generadores</b> .....	12
<b>1.5.- Base de datos considerada en el estudio</b> .....	13
<b>1.6.- Ajustes actuales de las protecciones consideradas</b> .....	13
<b>1.7.-Relés</b> .....	14
<b>CAPÍTULO 2: ESCENARIOS DE FALLAS ANALIZADOS</b> .....	16
<b>2.1.- Escenario N° 1: Sin generación</b> .....	16
<b>2.2.- Escenario N° 2: Con generación</b> .....	18
<b>CAPÍTULO 3: CRITERIO DE SELECCIÓN DE ALCANCES</b> .....	20
<b>3.1.- Criterios de ajuste relé SEL-311C en 66 kV de Lomas Coloradas</b> .....	20
<b>3.2.- Alcances Zona entre Fases y Residuales de Protección Direccional de Distancia 21-21N</b> .....	20
<b>3.2.1.- Primera Zona</b> .....	21
<b>3.2.2.- Segunda zona</b> .....	22
<b>3.2.3.- Tercera Zona</b> .....	23
<b>3.2.4.- Cuarta Zona: Reverse</b> .....	26
<b>3.3.- Criterios de ajuste Protección de Sobre corriente SEL-311C de Fase y Residual 51-51N</b> .....	28
<b>3.4.-Verificación de Alcances SEL - 311C Escuadrón</b> .....	28
<b>CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE FALLAS</b> .....	31
<b>4.1.- Introducción</b> .....	31
<b>4.2.- Escenario 1 sin generación</b> .....	31
<b>4.2.1.- Zona N° 1: Fallas en tramo de S/E Lomas Colorada – Empresa EFE, en 66 kV</b> .....	31
<b>4.2.3.- Zona N° 3: Fallas en tramo de empresa EFE.</b> .....	35
<b>4.3.- Escenario 2 con generación</b> .....	37
<b>4.3.1.- Zona N° 1: Fallas en tramo de S/E Lomas Colorada – Empresa EFE, en 66 kV</b> .....	37

4.3.2.- Zona N° 2: Fallas en tramo de Empresa EFE – S/E Escuadrón, en 66 kV.....	39
4.3.3.- Zona N° 3: Fallas en tramo de empresa EFE. ....	41
<b>CAPÍTULO 5: VERIFICACIÓN ALCANCES DE PROTECCIONES EXISTENTES....</b>	<b>43</b>
<b>CAPÍTULO 6: RESUMEN DE AJUSTE DE PROTECCIONES.....</b>	<b>49</b>
<b>6.1.- Introducción .....</b>	<b>49</b>
<b>6.2.- Resumen S/E Lomas Coloradas.....</b>	<b>49</b>
<b>6.3.- Resumen S/E Escuadrón .....</b>	<b>51</b>
<b>6.4.- Curvas de coordinación.....</b>	<b>52</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO C .....</b>	<b>143</b>
<b>ANEXO D .....</b>	<b>146</b>

## RESUMEN

El presente seminario de título tiene como propósito analizar la implementación de un esquema de protecciones de distancia para el nuevo servicio de transporte ferroviario a través de un estudio, con el fin de efectuar la coordinación de protecciones antiguas y a instalar a futuro.

El seminario contempla la implementación de protección de un relé SEL 311C (distancia y sobre corriente), el cual se necesita implementar en la subestación Lomas Coloradas para una protección hacia la empresa de ferrocarriles del estado (EFE), que se instalará entre Lomas Coloradas y Escuadrón. Para ello se calcularon los alcances del relé, para una correcta protección y coordinación con el relé SEL 311C situado en la S/E de Escuadrón.

Con ayuda del software Digsilent Power Factory versión 14.1 se logró obtener los niveles de cortocircuito del relé al igual que sus tiempos de operación para respaldar los estudios y dar una visión más completa para el análisis.

Al concluir, se tendrán los ajustes del relé que dará protección al servicio de transporte ferroviario y se corroborará la coordinación con las protecciones previas para el correcto funcionamiento del relé a implementar.

## INTRODUCCIÓN

Transnet S.A. prestará servicios a la empresa de ferrocarriles EFE, la cual requerirá una instalación entre Lomas Coloradas y Escuadrón a una distancia de 30 metros de la línea (se ubicará en la antigua S/E Escuadrón) de un consumo de 6 MVA con un factor de potencia de 0,95 y además se instalará con un transformador de marca H.Siddeley de 8 a 10 MVA.

Acorde a los requerimientos de la instalación de ferrocarriles se instalará un relé del tipo numérico, específicamente del fabricante Schweitzer tipo SEL modelo 311C que protegerá el nuevo servicio.

Con los valores de cortocircuitos actualizado se determinarán los ajustes de la protección a implementar mencionada anteriormente, efectuando además, un estudio de coordinación con los demás ajustes existentes de los esquemas de protecciones que están involucrados en el sistema y considerando las diversas condiciones de operación.

Para el correcto cumplimiento de los objetivos planteados, el presente seminario se divide en los siguientes puntos:

- Antecedentes utilizados
- Escenarios de falla analizado
- Análisis de falla
- Criterio de selección de alcances.
- Verificación de alcances de protección existentes
- Resumen de ajustes de protecciones

## **OBJETIVOS**

El presente Seminario de Título recomienda la implementación de elementos de protección del tipo numérico SEL-311C, debido a la necesidad de proteger la futura instalación de servicio de transporte ferroviario. En particular, se contempla la incorporación de los elementos de distancia y sobre corriente asociados al nuevo relé SEL-311C en 66 kV cuyas funciones serán proteger la instalación ferroviaria.

Los sistemas de protecciones nuevos, deberán coordinarse con las instalaciones existentes en la S/E Escuadrón. Además, se considera que los alcances no sobrepasen el diagrama en estudio para no afectar a las protecciones existentes.

## **CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES UTILIZADOS**

### **1.1.- Introducción**

En este capítulo, se introduce toda la información necesaria sobre la topología del SEP entre la zona de Lomas Coloradas y Escuadrón, con el fin de realizar posteriormente los cálculos pertinentes de cortocircuito y ajuste de protección de distancia. Dentro de estos datos se encontrarán las dimensiones de las líneas de transmisión involucradas, transformadores y generadores de potencia ubicados en las S/E comprendidas, y a su vez relés comprometidos con los alcances de la zona en estudio.

A continuación, se adjunta en la figura 1.1 un diagrama en el cual el sector remarcado es donde se encuentran las líneas, S/E, transformadores y generadores que se detallarán detenidamente en los subcapítulos posteriores.

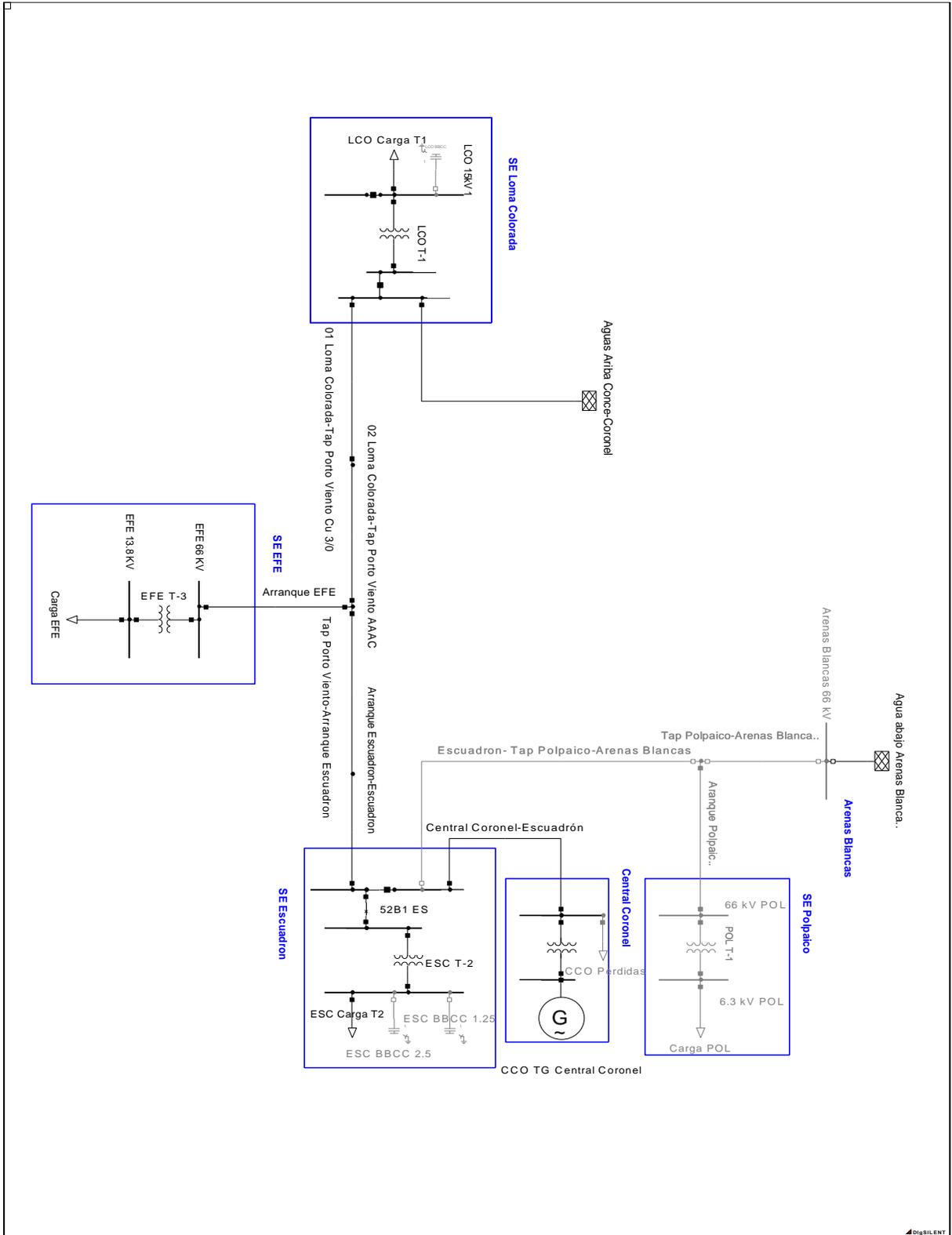


Figura 1.1 Diagrama unilineal del sector involucrado.

## 1.2.- Líneas de Transmisión

La línea de transmisión que se ve afectada corresponde a la que une las S/E Lomas Colorada y Escuadrón, la cual se divide en cuatro tramos, de los cuales la futura S/E de la empresa EFE se instalará en la antigua S/E Escuadrón mediante el punto en la línea denominado Tap Porto Viento 2. Las impedancias fueron obtenidas mediante la base de datos proporcionada por la empresa Transnet en el software DigsilentPower Factory 14.1.

- TRAMO 1: Lomas Coloradas – Tap Porto Viento 1, en 66 kV.  
 $Z_1 = 1,844445 + j 3,263151 \text{ Ohm.}$   
 $Z_0 = 3,066727 + j 13,17327 \text{ Ohm.}$   
 Longitud = 8,488 km.
  
- TRAMO 2: Tap Porto Viento 1 – Tap Porto Viento 2, en 66 kV.  
 $Z_1 = 0,3531131 + j 0,6247196 \text{ Ohm.}$   
 $Z_0 = 0,5871149 + j 2,52198 \text{ Ohm.}$   
 Longitud = 1,625 km.
  
- TRAMO 3: Tap Porto Viento 2 – Arranque Escuadrón, en 66 kV.  
 $Z_1 = 0,1224784 + j 0,2089088 \text{ Ohm.}$   
 $Z_0 = 0,205711 + j 0,8837496 \text{ Ohm.}$   
 Longitud = 0,578 km.
  
- TRAMO 4: Arranque Escuadrón – Escuadrón, en 66 kV.  
 $Z_1 = 0,04682995 + j 0,07516997 \text{ Ohm.}$   
 $Z_0 = 0,07870591 + j 0,347262 \text{ Ohm.}$   
 Longitud = 0,221 km.

### 1.3.- Transformadores

Los transformadores que se verán involucrados directamente en los estudios de la zona especificada del SEP, será el que se encuentra en la S/E de Lomas Colorada, otro ubicado en la S/E Escuadrón y por último el transformador situado en las instalaciones de la empresa EFE. En las tablas 1.1, 1.2 y 1.3 se encuentra toda la información requerida de los transformadores de poder para los análisis posteriores. La tabla 1.1 muestra las características del transformador de Lomas Coloradas T-1 mostrado en la figura 1.1.

Tabla 1.1 Transformador Lomas Coloradas

Parámetros	Características
Marca	Tusan T-14700
Designación	LCO T1
Potencias	15 - 25 [MVA]
Voltajes	69/15 [kV]
Impedancia sec (+)	9,99% (Base 15 MVA)
Impedancia sec cero	10,01% ( Base 15 MVA)
Conexión	Dyn1

La tabla 1.2 muestra las características del transformador de Escuadrón T-2 mostrado en la figura 1.1.

Tabla 1.2 Transformador Escuadrón

Parámetros	Características
Marca	Tusan T-43100
Designación	ESC T2
Potencias	18 - 30 [MVA]
Voltajes	69/15,3 [kV]
Impedancia sec (+)	10,5% (Base 18 MVA)
Impedancia sec cero	11,05% (Base 18 MVA)
Conexión	YNd1

La tabla 1.3 muestra las características del transformador de EFE T-3 mostrado en la figura 1.1.

Tabla 1.3 Transformador EFE

Parámetros	Características
Marca	H.SIDDELEY
Designación	EFE T3
Potencias	8 - 10 [MVA]
Voltajes	66/13,8 [kV]
Impedancia sec (+)	6,93% (Base 8 MVA)
Impedancia sec cero	6,93% (Base 8 MVA)
Conexión	Dyn1

#### 1.4.- Generadores

A continuación se muestra el generador a instalar para los casos con generación, de la central de Coronel conectado a la subestación Escuadrón.

La tabla 1.4 muestra las características del generador G de la Central Coronel mostrado en la figura 1.1.

Tabla 1.4 Generador de Central Coronel

Parámetros	Características
Marca	Desconocida
Designación	Generador G
Potencias	59,53 [MVA]
Voltajes	11 [kV]
Impedancia sec (-)	0,207 [pu]
Impedancia sec cero	0,111 [pu]
Factor de potencia	0.85
Conexión	YN

En el caso de los generadores, el único que tiene efecto sobre el área a evaluar corresponde aquel que se haya conectado a la S/E Escuadrón, específicamente en la Central Coronel.

### **1.5.- Base de datos considerada en el estudio**

La base de datos utilizada para desarrollar el presente estudio, corresponde a la base oficial del Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC) del Sistema Interconectado Central (SIC), en plataforma DigSilentPower Factory versión 14.1. A esta base de datos se agregó la modelación de la nueva protección que se incorporará al sistema a partir de los antecedentes del proyecto.

DigSilentPower Factory es una herramienta de ingeniería líder para aplicaciones de generación, transmisión, distribución y sistemas industriales. Integra todas las funciones y combina una serie de capacidades de modelado confiable. El software DigSilent versión 14.1 fue facilitado por la Universidad del Bío- Bío, dicho programa se utiliza para:

- Análisis de flujo de carga.
- Análisis de cortocircuito.
- Análisis de armónicos.
- Simulación de fenómenos transientes.
- Análisis de contingencias.
- Análisis de confiabilidad.
- Análisis de protección.
- Flujo de potencia óptimo (servicio continuo).

### **1.6.- Ajustes actuales de las protecciones consideradas**

En el anexo A, se presenta de manera más detallada la información con los ajustes de las protecciones utilizadas en este estudio.

### 1.7.-Relés

El relé que se menciona a continuación corresponde al SEL 311, este corresponde a un relé de distancia con múltiples funciones, se localiza en la S/E Escuadrón, el cual protege de cualquier eventual falla a la línea de transmisión a evaluar.

Debido a los alcances en común que el relé ubicado en Escuadrón tendrá con el relé que se implementará en la misma línea pero en el extremo de la S/E Lomas Coloradas, es relevante conocer sus ajustes de distancia, los cuales se presentarán en la tabla 1.5 y ajustes de la unidad direccional residual 51GT en la tabla 1.6

Tabla 1.5 Protección de distancia Relé SEL-311C

Zona	Alcance en Ohm-primario	Alcance en Ohm-secundario	Tiempo de Operación	% Línea	Dirección de Operación
Primera fase Residual	2,31	0,462	Instantáneo	80% Línea Escuadrón-Lomas Coloradas	Desde la barra de Escuadrón a S/E Lomas Coloradas
Segunda fase Residual	4,12	0,83	0,5seg	100% Línea Escuadrón-Coronel	Desde la barra de Escuadrón a S/E Lomas Coloradas
Tercera fase Residual	11,3	2,26	1,0 seg	50% Línea Escuadrón-Horcones	Desde la barra de Escuadrón a S/E Lomas Coloradas
Cuarta fase Residual	2,35	0,47	Instantáneo	7,5% de T1/T2 S/E Escuadrón	Desde barra de 66 kV S/E Escuadrón hacia atrás, hacia el generador de PSEG y por tanto también hacia un % de la impedancia de transformadores de Escuadrón

Las razones de transformación de los transformadores de medida de tensión y de corriente son los siguientes:

Transformador de tensión = 600

Transformador de corriente = 120

Tabla 1.6 Unidad direccional residual 51GT del relé SEL-311C

Unidad de tiempo	
Corriente mínima de Operación (prim.) en 66 kV	45 (A)
Pick-up	0,38(A-sec)
Curva	Very Inverse (U3)
Lever	5.0
Reset	N
Unidad instantánea (67G1):	
Corriente mínima de Operación (prim.) en 66 kV	2500 (A)
Pick-up	20,8 (A-sec)

Sobre corriente de respaldo, el elemento 67P para condiciones de emergencia por pérdida de potenciales.

Los ajustes instantáneos para el elemento 67P serán:

$$50P = 4.6 \text{ (A-sec)}$$

$$50P = 4.6 \times 120 = 552 \text{ (A-prim.)}$$

## CAPÍTULO 2: ESCENARIOS DE FALLAS ANALIZADOS

El lugar donde se conectarán las instalaciones de la empresa EFE será desde una línea de transmisión de 66 kV, la cual viene desde la S/E de Lomas Coloradas, hasta la S/E de Escuadrón, lo cual dicha empresa divide la línea de transmisión en dos tramos, el primer tramo que va desde S/E Lomas Coloradas hasta la instalación de la empresa EFE cuya línea mide 10,113 km y el segundo tramo que va desde la instalación de la empresa EFE hasta la S/E Escuadrón cuya línea mide 0,799 km, el tercer tramo será la línea desde la S/E EFE hasta la línea de transmisión involucrada cuya distancia mide 30 metros. Por lo tanto para cada zona descrita se debe realizar los cálculos de fallas correspondiente (para fallas trifásicas  $3\phi$ , bifásicas  $2\phi$ , bifásicas a tierra  $2\phi T$ , bifásicas a tierra  $2\phi T$  con resistencia de falla de  $R_F = 25\Omega$ , monofásica  $1\phi$  y monofásica  $1\phi$  con resistencia de falla de  $R_F = 25\Omega$ ), teniendo en cuenta que se deberán realizar con y sin los aportes del generador ubicado en la S/E Escuadrón. A continuación se describen los escenarios a estudiar.

### 2.1.- Escenario N° 1: Sin generación

- Zona N° 1: Fallas en tramo de S/E Lomas Coloradas – Empresa EFE, en 66 kV.

En este tramo se realizará un cálculo de falla para el 80% de la línea desde Lomas Colorada hasta el punto donde EFE instalará la S/E.

- Zona N° 2: Fallas en tramo de Empresa EFE – S/E Escuadrón, en 66 kV.

En este tramo se realizará un cálculo de falla para el 80% de la línea desde el punto de instalación de la nueva S/E de EFE hasta la S/E Escuadrón.

- Zona N° 3: Fallas en tramo de empresa EFE.

En este tramo se tomará un 80% del tramo desde la línea de 66 kV hasta la barra de EFE.

En la figura 2.1 se muestra de color gris el generador desconectado de la red y todo lo que se ve en color negro se encuentra en servicio, de esta forma permite distinguir y apreciar de mejor forma el escenario a evaluar y a su vez localizar la ubicación aproximada de la simulación de la fallas en cada una de las zonas.

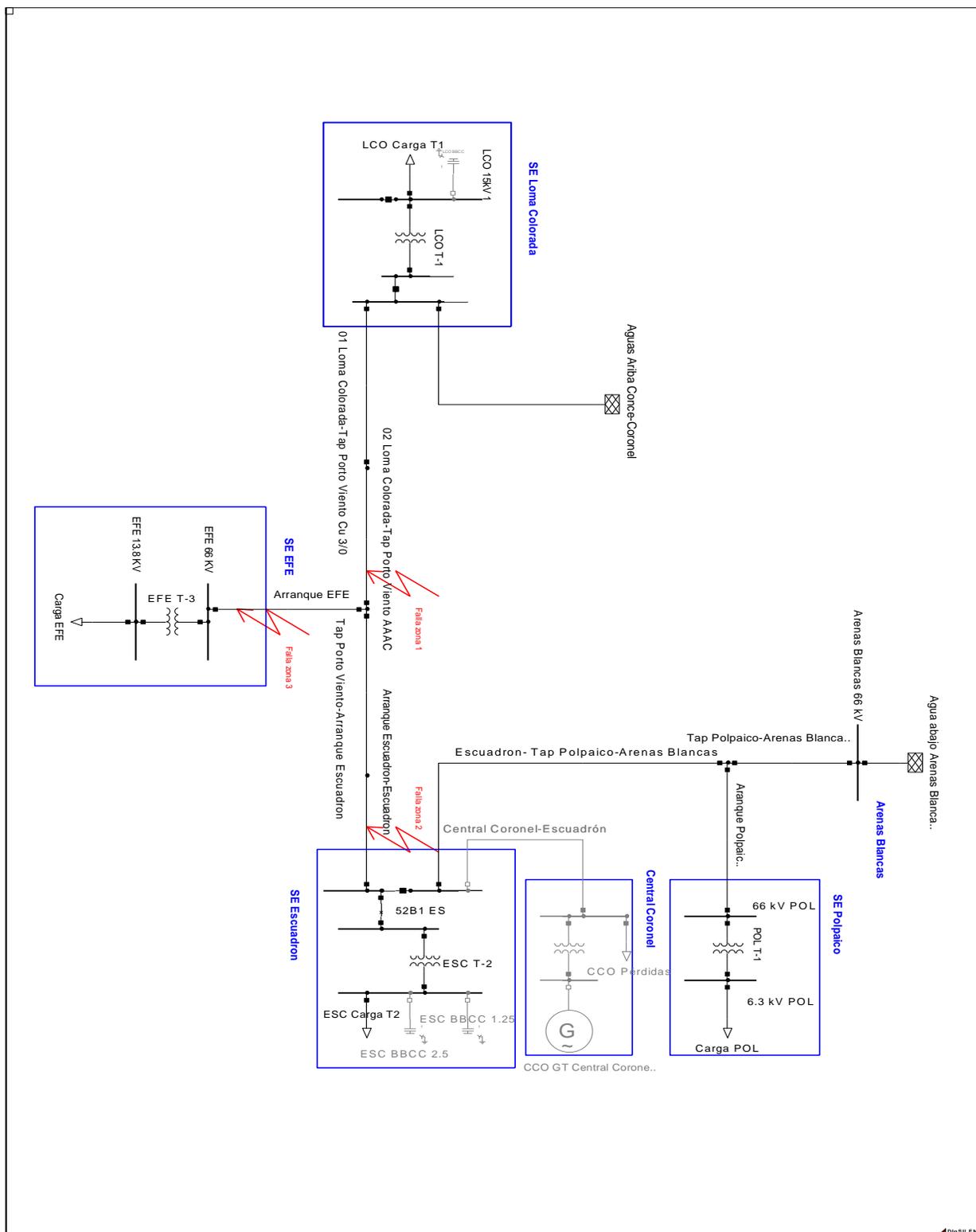


Figura 2.1 Diagrama unilínea con el generador desconectado.

## 2.2.- Escenario N° 2: Con generación

En este caso, las zonas a evaluar son las mismas que las del escenario anterior, solo con la diferencia que en este se deberán incluir en los cálculos de fallas, los aportes del generador de la S/E Escuadrón, ya que estará previamente conectado a la red.

- Zona N° 1: Fallas en tramo de S/E Lomas Colorada – Empresa EFE (generador conectado a la red), en 66 kV.

En este tramo se realizará un cálculo de falla para el 80% desde Lomas Colorada hasta el punto donde EFE instalara la S/E.

- Zona N° 2: Fallas en tramo de Empresa EFE – S/E Escuadrón (generador conectado a la red), en 66 kV.

En este tramo se realizará un cálculo de falla para el 80% de la línea desde el punto donde se instalará la nueva S/E de EFE hasta la S/E Escuadrón.

- Zona N° 3: Fallas en tramo de empresa EFE (generador conectado a la red).

En este tramo se tomará un 80% del tramo desde la línea de 66 kV hasta la barra de EFE.

En la figura 2.2 se puede apreciar que el generador esta vez se encuentra en color negro como todo el resto del sistema, dándose a entender que está conectado a la red.

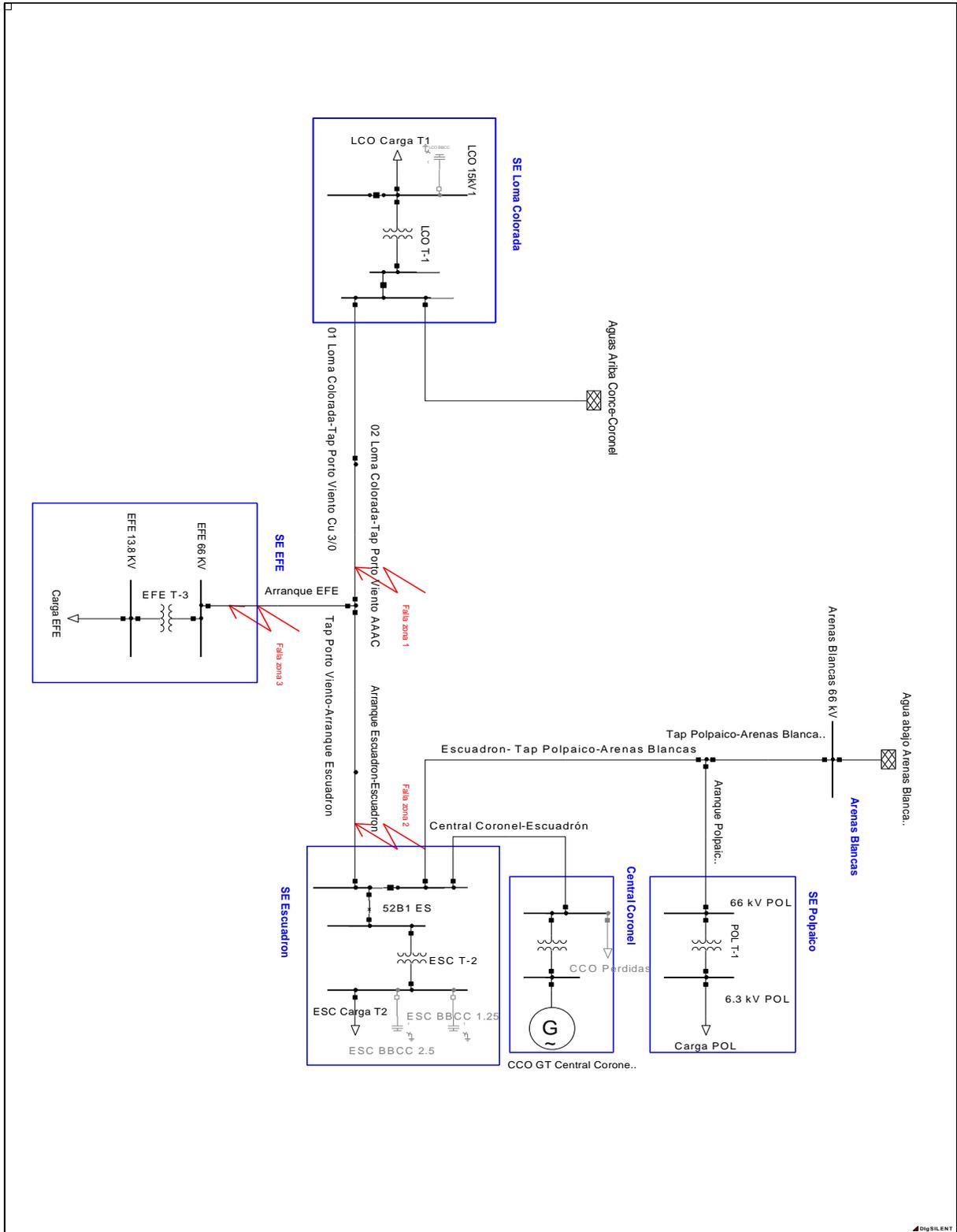


Figura 2.2 Diagrama unilineal con generador en servicio.

### **CAPÍTULO 3: CRITERIO DE SELECCIÓN DE ALCANCES**

Para la protección de las líneas de transmisión, se pretende emplear un dispositivo de distancia, este es denominado como SEL 311, trae incorporado un sistema de ajuste de cuatro zonas, las cuales se le designan porcentajes de impedancia que deberán proteger. Por cada zona tienen un tiempo de operación, algunas son instantáneas y otras con un pequeño retardo, el relé en su operación envía la señal correspondiente al interruptor de la línea afectada, con la orden de abrir y así poder despejar la falla. En los subcapítulos siguiente se explica detalladamente cada una de las zonas, con sus respectivos ajustes.

A continuación se indican las condiciones de sensibilidad y coordinación que deben cumplir las protecciones que serán ajustadas e incorporadas a la S/E Lomas Coloradas, considerando los escenarios de operación previamente señalados

#### **3.1.- Criterios de ajuste relé SEL-311C en 66 kV de Lomas Coloradas**

El propósito de la protección de distancia 21/21N que posee ajustes para cuatro zonas de operación, es de proteger las líneas de transmisión ubicadas entre Lomas Coloradas y Escuadrón, con un tiempo de operación instantáneo en primera y cuarta zona, temporizado en segunda y tercera zona, además de las protecciones de sobre corriente fase y residual 51/51N que respaldarán las protecciones de sobre corriente de Lomas Coloradas en 66kV.

Las razones de transformación que tendrán los transformadores de medidas del relé serán las siguientes:

Transformador de tensión = 600

Transformador de corriente = 80

#### **3.2.- Alcances Zona entre Fases y Residuales de Protección Direccional de Distancia 21-21N**

En la figura 3.1 se muestra un esquema de las zonas de operación del relé SEL 311 ubicado en la S/E Lomas Coloradas con respecto a las líneas involucradas, con el fin de dar a entender los alcances de cada zona.

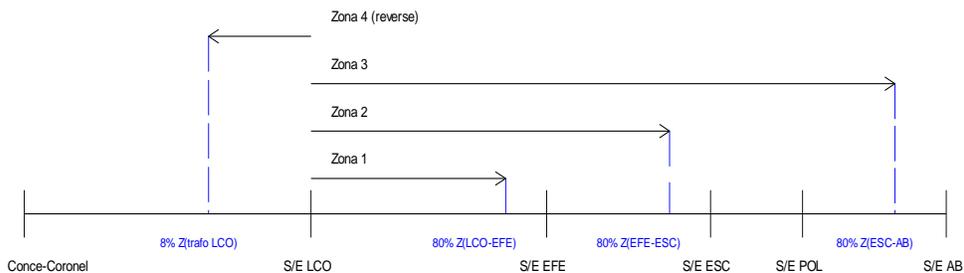


Figura 3.1 Esquema de zonas de operación.

### 3.2.1.- Primera Zona

El alcance de la zona Mho de fase será el 80% de la impedancia de la línea Lomas Coloradas - EFE, para fallas que ocurran en 66 kV. Para la zona Mho residual se ajustará el alcance equivalente al 90% de la impedancia de dicha línea, para fallas a tierra que se produzcan en la barra de 66 kV.

Su tiempo de operación será instantáneo y su dirección hacia EFE.

En donde  $Z_{L1}$  es la impedancia de la línea entre Lomas Coloradas y EFE:

$$Z_{L1} = 4,4656 \angle 60,52^\circ \Omega_{PRI}$$

Refiriendo esta impedancia al secundario:

$$Z_{L1(SEC)} = Z_{\Omega} \times \frac{TTCC}{TTPP} = 4,4656 \times \frac{80}{600} = 0,59546 \angle 60,52^\circ \Omega_{SEC}$$

Luego los ajustes resultantes son:

$$Z_{1P} = 0,59546 \times 0,8 = 0,4764 \angle 60,52^\circ \Omega_{SEC}$$

$$Z_{1MG} = 0,59546 \times 0,9 = 0,5359 \angle 60,52^\circ \Omega_{SEC}$$

Los ajustes indicados previamente son los que se deben ingresar al software DigSilent para coordinar las protecciones.

### 3.2.2.- Segunda zona

El alcance de la zona Mho de fase será el 100% de la línea desde Lomas Coloradas hasta EFE, más el 80% de la impedancia de la línea desde EFE - Escuadrón, para fallas que ocurran entre dicha línea de 66 kV. Para la zona Mho residual se ajustará el alcance equivalente al 100% de la línea desde Lomas Coloradas hasta EFE, más el 90% de la impedancia de dicha línea, para fallas a tierra que ocurran en la barra de 66 kV. Su tiempo de operación será 0,4 segundos y su dirección hacia Escuadrón.

En donde  $Z_{L2}$  es la impedancia de la línea entre EFE y Escuadrón:

$$Z_{L2} = 0,3307 \angle 59,2^\circ \Omega_{PRI}$$

Refiriendo esta impedancia al secundario:

$$Z_{L2} = Z\Omega \times \frac{TTCC}{TTPP} = 0,3307 \times \frac{80}{600} = 0,044 \angle 59,2^\circ \Omega_{SEC}$$

Luego los ajustes resultantes son:

$$Z_{2P} = 0,59546 \angle 60,52^\circ + (0,044 \angle 59,2^\circ) * 0,8 \Omega_{SEC}$$

$$Z_{2P} = 0,6307 \angle 60,446 \Omega_{SEC}$$

$$Z_{2MG} = 0,59546 \angle 60,52^\circ + (0,044 \angle 59,2^\circ) * 0,9 \Omega_{SEC}$$

$$Z_{2MG} = 0,6351 \angle 60,44^\circ \Omega_{SEC}$$

Los ajustes calculados son los que se deben ingresar al software DigSilent para coordinar las protecciones.

Verificación de alcance de la Zona 2 con respecto al Transformador instalado en EFE

$$Z_T = 37,7338 \angle 88,1218^\circ \Omega_{PRI}$$

Refiriendo esta impedancia al secundario:

$$Z_T = 5,031 \angle 88,1218^\circ \Omega_{SEC}$$

Teniendo en cuenta que la impedancia de la línea es de:

$$Z_{L2} = 0,044 \angle 59,2^\circ \Omega_{SEC}$$

Ahora considerando el ajuste del relé en un 80% de la impedancia de la línea EFE-escuadrón. Por lo tanto la impedancia correspondiente sería:

$$Z_L = (0,044 \angle 59,2^\circ) * 0,8 = 0,0352 \angle 59,2^\circ \Omega_{SEC}$$

Impedancia de la línea en relación al transformador:

$$\% = \frac{0,0352 * 100}{5,031} = 0,7\%$$

Por lo tanto el alcance seleccionado corresponde al 0,7 % del transformador instalado en EFE.

### 3.2.3.- Tercera Zona

El alcance de la zona Mho de fase será el 100% de la línea desde la S/E Lomas Coloradas pasando por EFE hasta la S/E Escuadrón, más el 80% de la impedancia de la línea de Escuadrón - Arenas Blancas, para fallas que ocurran entre dicha línea de 66 kV. Para la zona Mho residual se ajustará el alcance equivalente 100% de la línea desde la S/E Lomas Coloradas pasando por EFE hasta la S/E Escuadrón, más el 80% de la impedancia de la línea de Escuadrón - Arenas Blancas, para fallas a tierra que ocurran en la barra de 66 kV.

Su tiempo de operación será de 1,0 segundos y su dirección hacia Arenas Blancas.

En donde  $Z_{L3}$  es la impedancia de la línea entre Escuadrón y Arenas Blancas:

$$Z_{L3} = 2,5 \angle 57,68^\circ \Omega_{PRI}$$

Refiriendo esta impedancia al secundario:

$$Z_{L3} = Z_{\Omega} \times \frac{TTCC}{TTPP} = 2,5 \times \frac{80}{600} = 0,333 \angle 57,69^\circ \Omega_{SEC}$$

Luego los ajustes resultantes son:

$$Z_{3P} = 0,59546 \angle 60,52^\circ + 0,044 \angle 59,2^\circ + (0,333 \angle 57,69^\circ) * 0,8 \Omega_{SEC}$$

$$Z_{3P} = 0,9056 \angle 59,62^\circ \Omega_{SEC}$$

$$Z_{3MG} = 0,59546 \angle 60,52^\circ + 0,044 \angle 59,2^\circ + (0,333 \angle 57,69^\circ) * 0,9 \Omega_{SEC}$$

$$Z_{3MG} = 0,9389 \angle 59,56^\circ \Omega_{SEC}$$

Los valores de impedancias calculados anteriormente corresponden a los ajustes que se deben ingresar al software DigSilent para coordinar las protecciones.

Verificación de alcance de la Zona 3 con respecto al transformador instalado en EFE.

$$Z_T = 37,7338 \angle 88,1218^\circ \Omega_{PRI}$$

Refiriendo esta impedancia al secundario:

$$Z_T = Z\Omega \times \frac{TTCC}{TTPP} = 37,7338 \times \frac{80}{600} = 5,031 \angle 88,1218^\circ \Omega_{SEC}$$

Teniendo en cuenta que la impedancia de la línea es de:

$$Z_{L3} = 0,333 \angle 57,69^\circ \Omega_{SEC}$$

Ahora considerando el ajuste del relé en un 80% de la impedancia de la línea Escuadrón-Arenas Blancas, teniendo en cuenta la impedancia de  $Z_{L2}$ . Por lo tanto la impedancia resultante sería:

$$Z_L = (0,333 \angle 57,69^\circ) * 0,8 + 0,044 \angle 59,2^\circ = 0,31 \angle 57,904^\circ \Omega_{SEC}$$

Impedancia de la línea en relación al transformador:

$$\% = \frac{0,31 * 100}{5,031} = 6,16\%$$

Por lo tanto el alcance seleccionado corresponde al 6,16 % del transformador instalado en EFE.

Verificación de alcance de la Zona 3 con respecto al transformador instalado en Escuadrón.

$$Z_T = 27,77 \angle 87,723^\circ \Omega_{PRI}$$

Refiriendo esta impedancia al secundario:

$$Z_T = Z\Omega \times \frac{TTCC}{TTPP} = 25,41 \times \frac{80}{600} = 3,703 \angle 87,723^\circ \Omega_{SEC}$$

Teniendo en cuenta que la impedancia de la línea es de:

$$Z_{L3} = 0,333 \angle 57,69^\circ \Omega_{SEC}$$

Ahora considerando el ajuste del relé en un 80% de la impedancia de la línea Escuadrón-Arenas Blancas. Por lo tanto la impedancia resultante sería:

$$Z_L = (0,333 \angle 57,69^\circ) * 0,8 = 0,2664 \angle 57,69^\circ \Omega_{SEC}$$

Impedancia de la línea en relación al transformador:

$$\% = \frac{0,2664 * 100}{3,703} = 7,19\%$$

Se comprueba que el alcance con respecto a la impedancia del transformador instalado en Escuadrón corresponde al 7,19 %.

Verificación de alcance de la Zona 3 con respecto al Transformador instalado en la Central Coronel.

$$Z_T = 11,645 \angle 88,0526^\circ \Omega_{PRI}$$

Refiriendo esta impedancia al secundario:

$$Z_T = Z \Omega \times \frac{TTCC}{TTPP} = 11,645 \times \frac{80}{600} = 1,55 \angle 88,0526^\circ \Omega_{SEC}$$

Teniendo en cuenta que la impedancia de la línea es de:

$$Z_{L3} = 0,333 \angle 57,69^\circ \Omega_{SEC}$$

Ahora considerando el ajuste del relé en un 80% de la impedancia de la línea Escuadrón-Arenas Blancas. Por lo tanto la impedancia resultante sería:

$$Z_L = (0,333 \angle 57,69^\circ) * 0,8 = 0,2664 \angle 57,69^\circ \Omega_{SEC}$$

Impedancia de la línea en relación al transformador:

$$\% = \frac{0,2664 * 100}{1,55} = 17,18\%$$

Por lo tanto se comprueba que el alcance seleccionado corresponde al 17,18% del transformador en la Central Coronel.

Verificación de alcance de la Zona 3 con respecto al transformador instalado en Polpaico.

$$Z_T = 14,665 \angle 85,1686^\circ \Omega_{PRI}$$

Refiriendo esta impedancia al secundario:

$$Z_T = Z_{\Omega} \times \frac{TTCC}{TTPP} = 14,665 \times \frac{80}{600} = 1,955 \angle 85,1686^{\circ} \Omega_{SEC}$$

Teniendo en cuenta que la impedancia de la línea es de:

$$Z_{L3} = 0,333 \angle 57,69^{\circ} \Omega_{SEC}$$

Ahora considerando el ajuste del relé en un 80% de la impedancia de la línea Escudrón-Arenas Blancas, a esta impedancia se le debe restar la impedancia que existe entre Escudrón y Polpaico ( $Z_{EP}$ ), debido a que la ubicación del transformador mencionado se encuentra a un % menor que el 80% correspondiente al ajuste. Por lo tanto la impedancia resultante sería:

$$Z_{EP} = 0,3574 \angle 58,0776^{\circ} \Omega_{PRI}$$

Refiriendo esta impedancia al secundario:

$$Z_T = Z_{\Omega} \times \frac{TTCC}{TTPP} = 0,3574 \times \frac{80}{600} = 0,0476 \angle 58,0776^{\circ} \Omega_{SEC}$$

$$Z_L = (0,333 \angle 57,69^{\circ}) * 0,8 - 0,0476 \angle 58,0776^{\circ} = 0,2188 \angle 57,605^{\circ} \Omega_{SEC}$$

Impedancia de la línea en relación al transformador:

$$\% = \frac{0,2188 * 100}{1,955} = 11,19\%$$

Por lo tanto el alcance es seleccionado en relación al transformador instalado en la S/E Polpaico corresponde al 11,19%.

### 3.2.4.- Cuarta Zona: Reverse

El alcance de las zonas Mho (fase residual) será el 8% de la impedancia del transformador ubicado en Lomas Coloradas, para fallas que ocurran en 66 kV. Para la zona Mho residual se ajustará el alcance equivalente al 9% de la impedancia de dicho transformador, para fallas a tierra que ocurran en 66 kV.

Su tiempo de operación será instantáneo y su dirección, es hacia atrás en dirección a líneas de Concepción-Coronel (Reverse).

En donde  $Z_{T4}$  es la impedancia del transformador ubicado en Lomas Coloradas:

$$Z_{T4} = 31,708 \angle 87,38^\circ \Omega_{PRI}$$

Refiriendo esta impedancia al secundario:

$$Z_{T4} = Z\Omega \times \frac{TTCC}{TTPP} = 31,708 \times \frac{80}{600} = 4,227 \angle 87,38^\circ \Omega_{SEC}$$

Luego los ajustes resultantes son:

$$Z_{4P} = (4,227 \angle 2,62^\circ) * 0,08 \Omega_{SEC}$$

$$Z_{4P} = 0,338 \angle 87,38^\circ \Omega_{SEC}$$

$$Z_{4MG} = (4,227 \angle 87,38^\circ) * 0,09 \Omega_{SEC}$$

$$Z_{4MG} = 0,380 \angle 87,38^\circ \Omega_{SEC}$$

Los ajustes indicados previamente son los que debemos ingresar al software DigSilent para coordinar las protecciones.

### 3.2.5.- Diagrama zonas del relé

El relé a utilizar posee cuatro zonas de ajuste, las cuales abarcan un cierto porcentaje de las líneas de transmisión del sistema eléctrico a evaluar. Los porcentajes fijados a cada zona serán designados por Transnet S.A, los que posteriormente se verificarán para un apropiado funcionamiento del relé en los capítulos siguientes.

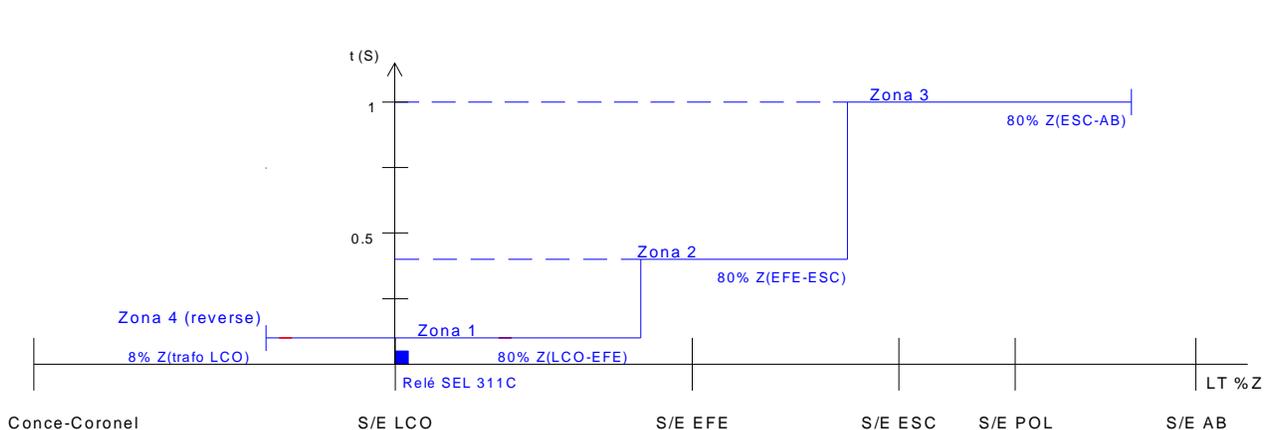


Figura 3.1 Diagrama zonas de operación del relé

### 3.3.- Criterios de ajuste Protección de Sobre corriente SEL-311C de Fase y Residual 51-51N

Esta protección se utiliza para respaldar las protecciones de distancia en fase y residual 21-21N de la línea en 66 kV.

Las funciones de sobre corriente deberán coordinar con las protecciones aguas arriba, aguas abajo y otorgar la adecuada protección a las líneas de transmisión involucradas, considerando estar bajo la curva de daño del transformador.

Los criterios generales a considerar por estas protecciones son:

- Ajuste de transformador de corriente TT/CC: 400/5
- Corriente mínima de operación: 80 (A-prim.)
- Pick-up: 1 (A-sec.)
- Curva: U5 short time inverse
- Lever:#5

### 3.4.-Verificación de Alcances SEL - 311C Escuadrón

A partir de los datos previos del Relé instalado en Escuadrón verificaremos los alcances para el correcto funcionamiento de las protecciones, lo que se pretende conseguir es que en su primera segunda y cuarta Zona no sobrepase en un 10% la impedancia del transformador a instalar en la S/E EFE, además que en su tercera Zona sea menor que el 80% del transformador a instalar en EFE.

En donde  $Z_T$  es la impedancia del transformador instalado en EFE.

$$Z_T = 37,7338 \angle 88,1218^\circ \Omega_{PRI}$$

Refiriendo esta impedancia al secundario:

$$Z_T = 7,5467 \angle 88,1218^\circ \Omega_{SEC}$$

Verificación de alcance de la Zona 1 con respecto al transformador instalado en EFE

En donde  $Z_{L1}$  es la impedancia de la línea entre Escuadrón y Lomas Coloradas que afecta a dicho transformador:

$$Z_{L1} = 0,7013 \angle 60,548^\circ \Omega_{SEC}$$

Impedancia de la línea en relación al transformador:

$$\% = \frac{0,7013 \cdot 100}{7,5467} = 9,29\%$$

Por lo tanto el alcance seleccionado en relación al transformador instalado en EFE corresponde al 9,29 %.

Verificación de alcance de la Zona 2 con respecto al transformador instalado en EFE.

En donde  $Z_{L2}$  es la impedancia de la línea entre Escuadrón y Coronel que afecta al transformador indicado anteriormente:

$$Z_{L2} = 0,441 \angle 61,157^\circ \Omega_{SEC}$$

Impedancia de la línea en relación al transformador:

$$\% = \frac{0,441 \cdot 100}{7,5467} = 5,85\%$$

Se comprueba que el alcance seleccionado corresponde al 5,85 % del transformador instalado en EFE.

Verificación de alcance de la Zona 3 con respecto al transformador instalado en EFE.

En donde  $Z_{L3}$  es la impedancia de la línea entre Escuadrón y Horcones que afecta al transformador previamente indicado:

$$Z_{L3} = 1,594 \angle 55,136^\circ \Omega_{SEC}$$

Impedancia de la línea en relación al transformador:

$$\% = \frac{1,594 \cdot 100}{7,5467} = 21,12\%$$

Por lo tanto el alcance seleccionado corresponde al 21,12 % del transformador instalado en EFE.

Verificación de alcance de la Zona 4 con respecto al transformador instalado en EFE

En donde  $Z_{L4}$  es la impedancia que corresponde al 7,5% del transformador de Escuadrón:

$$Z_{L4} = 0,4165 \angle 87,723^\circ \Omega_{SEC}$$

La impedancia que afecta al transformador de EFE correspondería a la siguiente:

$$Z = 0,4165 \angle 87,723^\circ - 0,066 \angle 59,205^\circ = 0,36 \angle 92,746^\circ$$

Impedancia de la línea en relación al transformador:

$$\% = \frac{0,36 \cdot 100}{7,5467} = 4,76\%$$

Por lo tanto se concluye que el alcance seleccionado corresponde al 4,76% del transformador instalado en EFE.

En el siguiente diagrama se puede identificar las zonas de operación de ambos sobre un mismo plano.

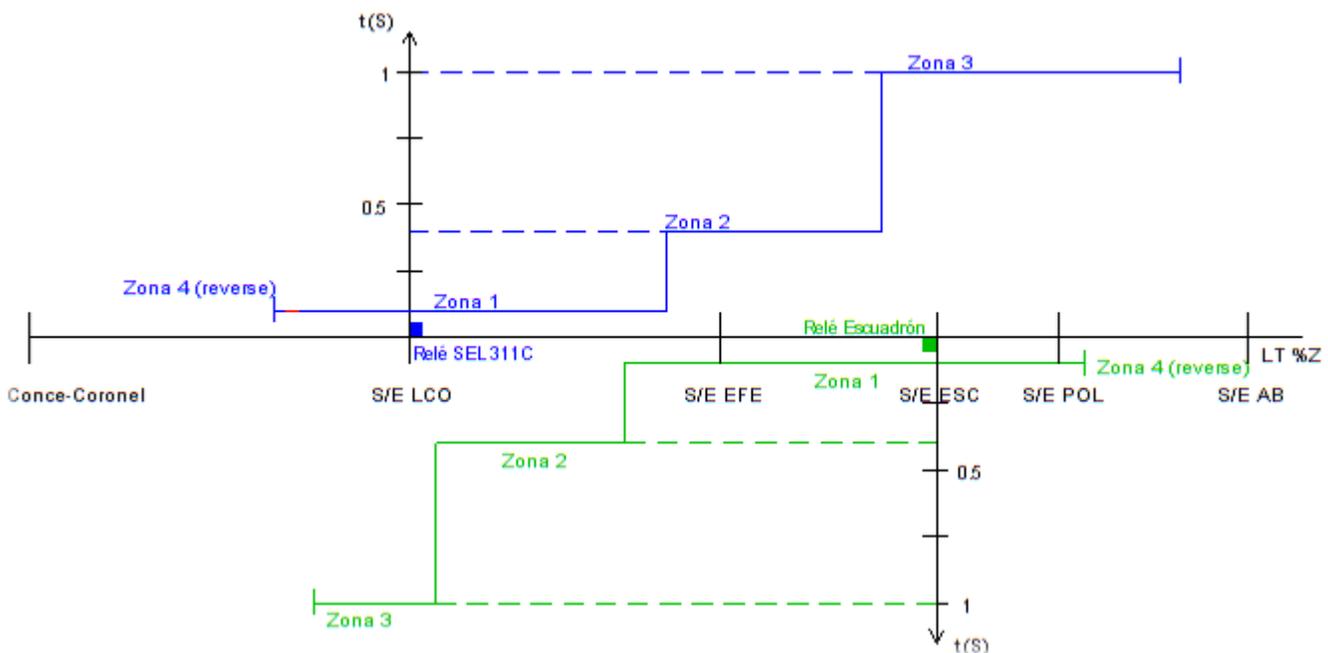


Figura 3.2 Diagramas de las zonas de operación de ambos relés.

## CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE FALLAS

### 4.1.- Introducción

A continuación se indican los cálculos en los niveles de cortocircuito máximos en las instalaciones del sistema eléctrico en estudio. El cortocircuito máximo se calcula con la condición de máxima generación en la zona. Para el cálculo se utilizó el método según IEC-60909, del software DigSilentPower Factory, en la condición de máxima corriente de cortocircuito para las topologías analizadas en el capítulo 2 del presente trabajo.

### 4.2.- Escenario 1 sin generación

#### 4.2.1.- Zona N° 1: Fallas en tramo de S/E Lomas Colorada – Empresa EFE, en 66 kV.

En la tabla 4.1 se muestran las corrientes de cortocircuito vistas por el relé en los distintos tipos de falla en la Zona 1 para el 80% del tramo establecido previamente, sin el aporte del generador ubicado en la S/E Escuadrón.

Tabla 4.1 Tramo Lomas Coloradas - EFE

Corriente de cortocircuito						
Ubicación de falla	Falla 3 $\phi$ I fase [kA]	Falla 2 $\phi$ I fase [kA]	Falla 1 $\phi$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 2 $\phi$ -T I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 1 $\phi$ con Rf 25 $\Omega$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 2 $\phi$ -T con Rf 25 $\Omega$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]
Barra 66kV Lomas Colorada	5,084	5,127	1,363	1,457	0,35	0,353
Barra 66kV S/E Escuadrón	4,442	4,5	4,531	4,863	1,165	1,18

En la figura 4.1 se muestran la ubicación de la falla al 80% de la línea desde Lomas Coloradas hasta EFE.

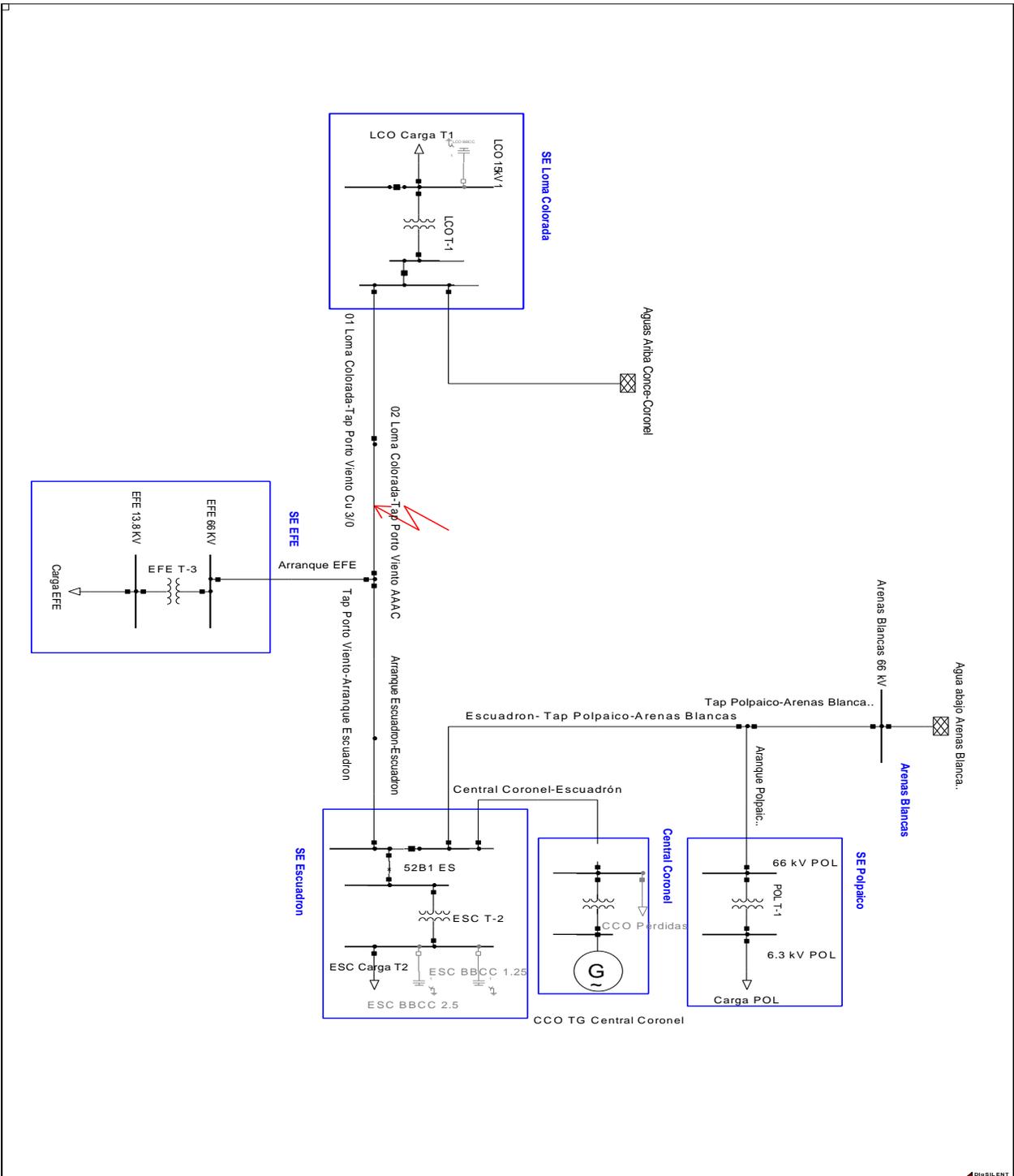


Figura 4.1 Falla 80% Zona N° 1

**4.2.2.- Zona N° 2: Fallas en tramo de Empresa EFE– S/E Escuadrón, en 66 kV.**

En la tabla 4.2 se muestran las corrientes de cortocircuito vistas por el relé en los distintos tipos de falla en la Zona 2 para el 80% del tramo establecido previamente, sin el aporte del generador ubicado en la S/E Escuadrón.

Tabla 4.2 Tramo EFE - Escuadrón

Corriente de cortocircuito						
Ubicación de falla	Falla 3 $\phi$ I fase [kA]	Falla 2 $\phi$ I fase [kA]	Falla 1 $\phi$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 2 $\phi$ -T I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 1 $\phi$ con Rf 25 $\Omega$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 2 $\phi$ -T con Rf 25 $\Omega$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]
Barra 66kV Lomas Coloradas	4,496	4,526	0,486	0,700	0,105	0,107
Barra 66kV S/E Escuadrón	4,996	5,072	6,704	9,747	1,450	1,497



**4.2.3.- Zona N° 3: Fallas en tramo de empresa EFE.**

En la tabla 4.3 se muestran las corrientes de cortocircuito que ve el relé en los distintos tipos de falla en la Zona 3 para un 80% del tramo establecido previamente, sin el aporte del generador ubicado en la S/E Escuadrón.

Tabla 4.3 Tramo Empresa EFE

Corriente de cortocircuito						
Ubicación de falla	Falla 3 $\phi$ I fase [kA]	Falla 2 $\phi$ I fase [kA]	Falla 1 $\phi$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 2 $\phi$ -T I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 1 $\phi$ con Rf 25 $\Omega$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 2 $\phi$ -T con Rf 25 $\Omega$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]
Barra 66kV Lomas Coloradas	4,581	4,613	0,656	0,871	0,148	0,151
Barra 66kV S/E Escuadrón	4,891	4,964	6,191	8,273	1,398	1,483

En la figura 4.3 se muestran la ubicación de la falla al 80% desde la línea involucrada hasta la barra de 66 kV de la S/E EFE.

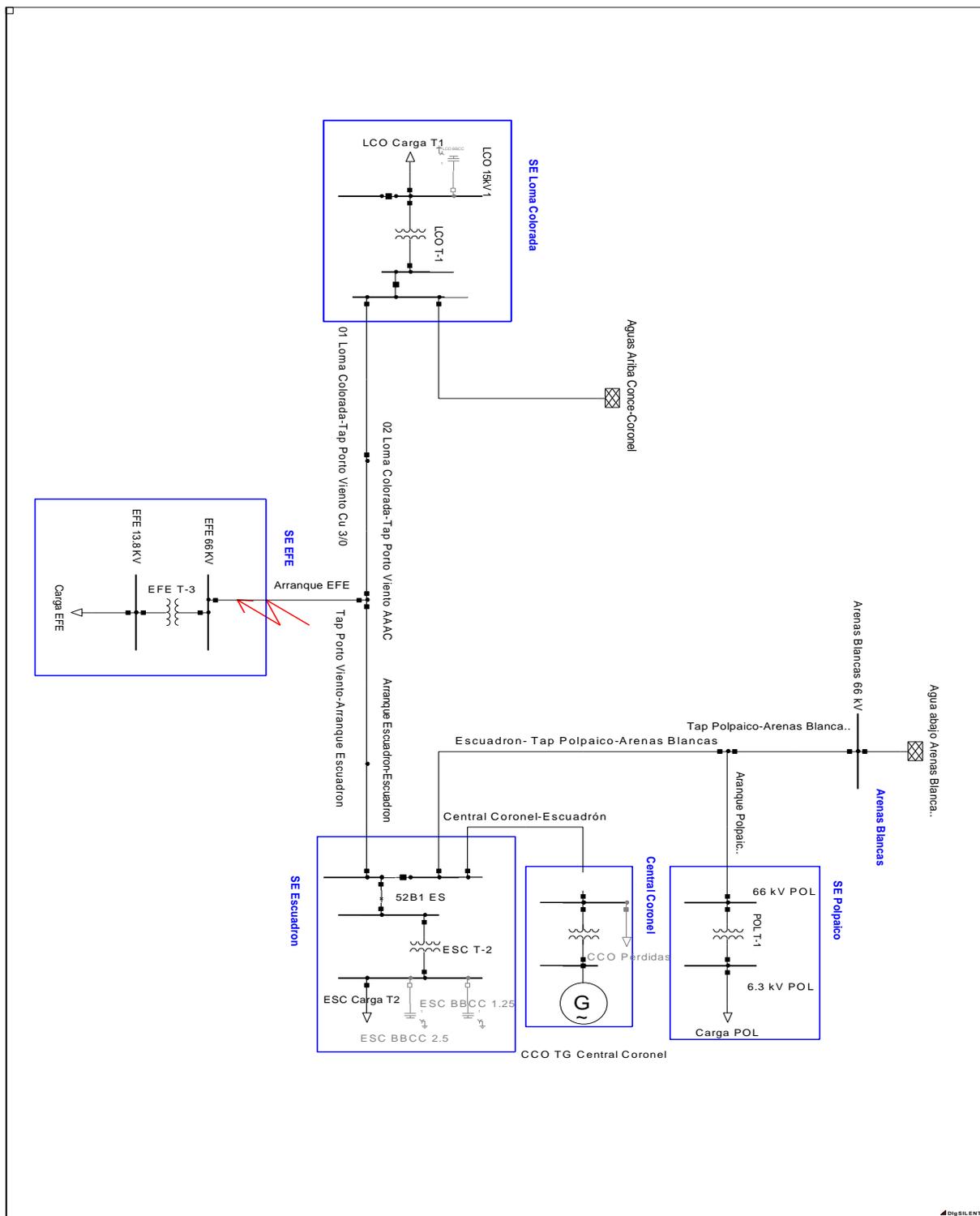


Figura 4.3 Falla 80% Zona N°3

### 4.3.- Escenario 2 con generación

#### 4.3.1.- Zona N° 1: Fallas en tramo de S/E Lomas Colorada – Empresa EFE, en 66 kV.

En la tabla 4.4 se muestran las corrientes de cortocircuito que ve el relé en los distintos tipos de falla en la Zona 1 para el 80% del tramo establecido previamente, con el aporte del generador ubicado en la S/E Escuadrón.

Tabla 4.4 Tramo Lomas Coloradas - EFE

Corriente de cortocircuito						
Ubicación de falla	Falla 3 $\phi$ I fase [kA]	Falla 2 $\phi$ I fase [kA]	Falla 1 $\phi$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 2 $\phi$ -T I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 1 $\phi$ con Rf 25 $\Omega$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 2 $\phi$ -T con Rf 25 $\Omega$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]
Barra 66kV Lomas Colorada	5,114	5,156	1,576	1,577	0,357	0,356
Barra 66kV S/E Escuadrón	6,689	6,717	5,258	5,282	1,191	1,195

En la figura 4.4 se muestran la ubicación de la falla al 80% de la línea desde Lomas Coloradas hasta EFE.

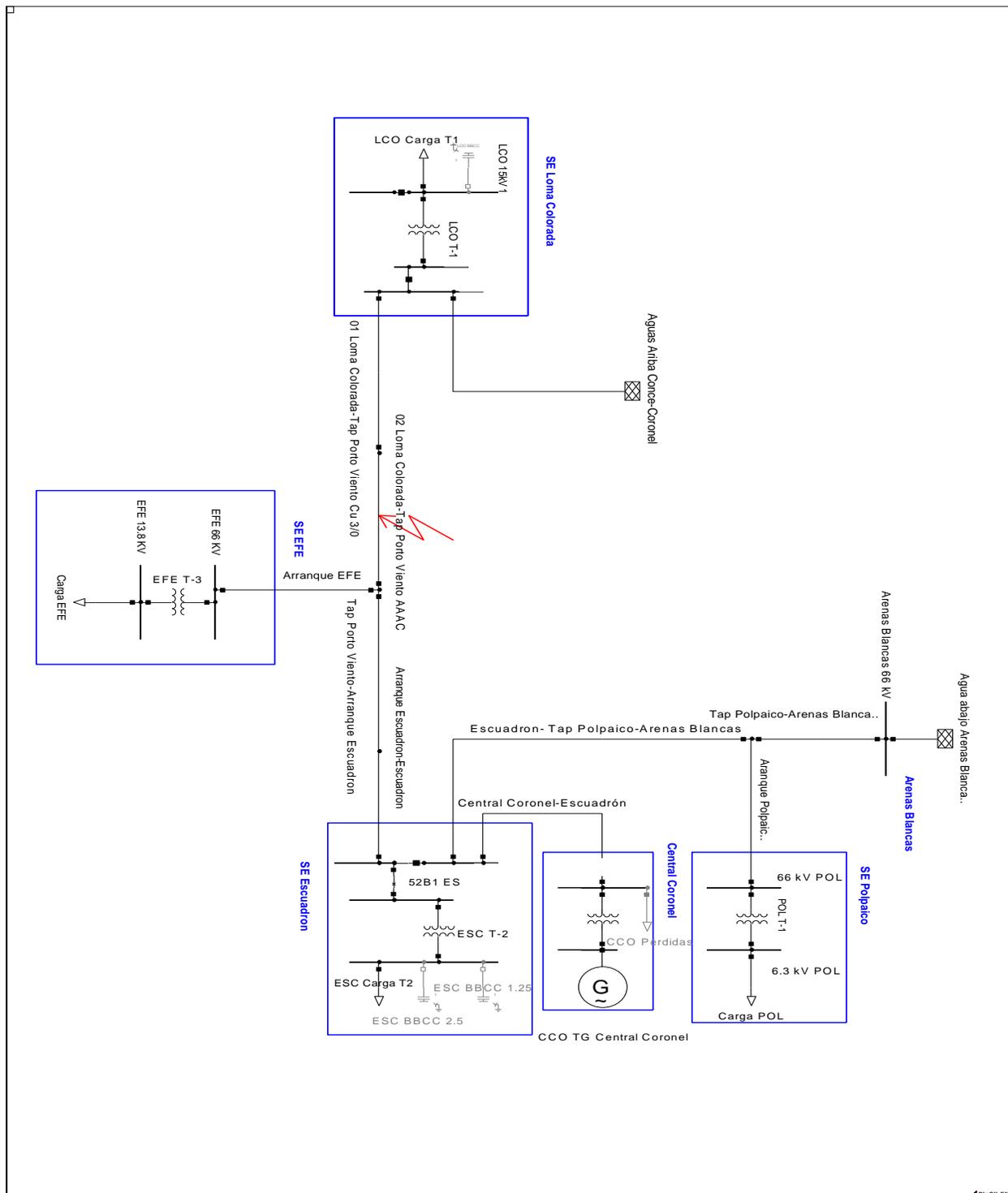


Figura 4.4 Falla 80% Zona N°1

**4.3.2.- Zona N° 2: Fallas en tramo de Empresa EFE – S/E Escuadrón, en 66 kV.**

En la tabla 4.5 se muestran las corrientes de cortocircuito vistas por el relé en los distintos tipos de falla en la Zona 2 para un 80% del tramo establecido previamente, con el aporte del generador ubicado en la S/E Escuadrón.

Tabla 4.5 Tramo EFE - Escuadrón

Corriente de cortocircuito						
Ubicación de falla	Falla 3 $\phi$ I fase [kA]	Falla 2 $\phi$ I fase [kA]	Falla 1 $\phi$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 2 $\phi$ -T I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 1 $\phi$ con Rf 25 $\Omega$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 2 $\phi$ -T con Rf 25 $\Omega$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]
Barra 66kV Lomas Coloradas	4,498	4,527	0,601	0,818	0,106	0,108
Barra 66kV S/E Escuadrón	7,866	7,914	8,41	7,919	1,49	1,518

En la figura 4.5 se muestran la ubicación de la falla al 80% de la línea desde EFE hasta Escuadrón.

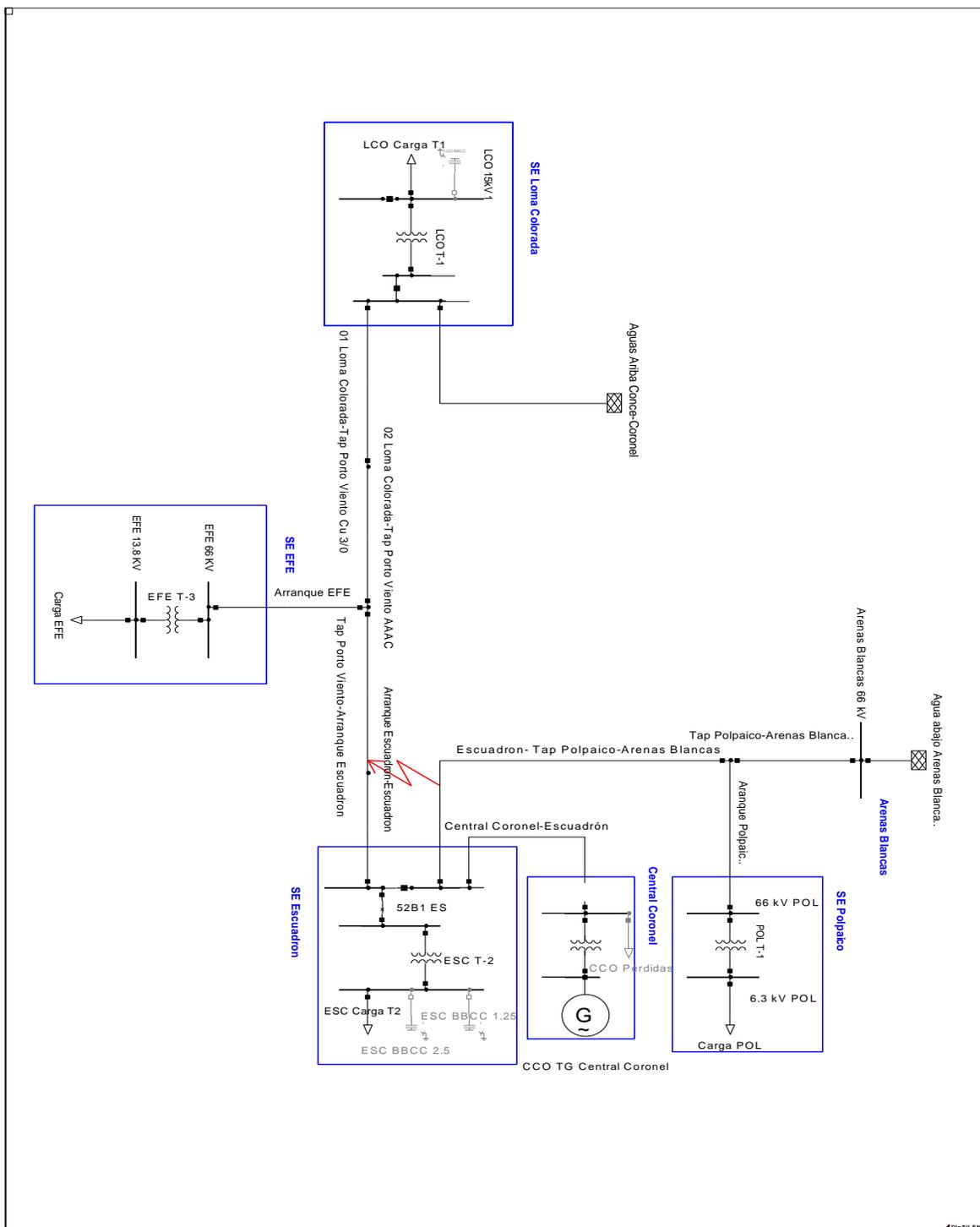


Figura 4.5 Falla Zona N°2

**4.3.3.- Zona N° 3: Fallas en tramo de empresa EFE.**

En la tabla 4.6 se muestran las corrientes de cortocircuito vistas por el relé en los distintos tipos de falla en la Zona 3 para un 80% del tramo establecido previamente, con el aporte del generador ubicado en la S/E Escuadrón.

Tabla 4.6 Tramo Empresa EFE

Corriente de cortocircuito						
Ubicación de falla	Falla 3 $\phi$ I fase [kA]	Falla 2 $\phi$ I fase [kA]	Falla 1 $\phi$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 2 $\phi$ -T I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 1 $\phi$ con Rf 25 $\Omega$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]	Falla 2 $\phi$ -T con Rf 25 $\Omega$ I residual 3I <sub>o</sub> [kA]
Barra 66kV Lomas Coloradas	4,586	4,617	0,800	0,995	0,150	0,152
Barra 66kV S/E Escuadrón	7,634	7,679	7,622	9,527	1,435	1,458

En la figura 4.6 se muestra la ubicación de la falla al 80% desde la línea involucrada hasta la barra de 66 kV de la S/E EFE.

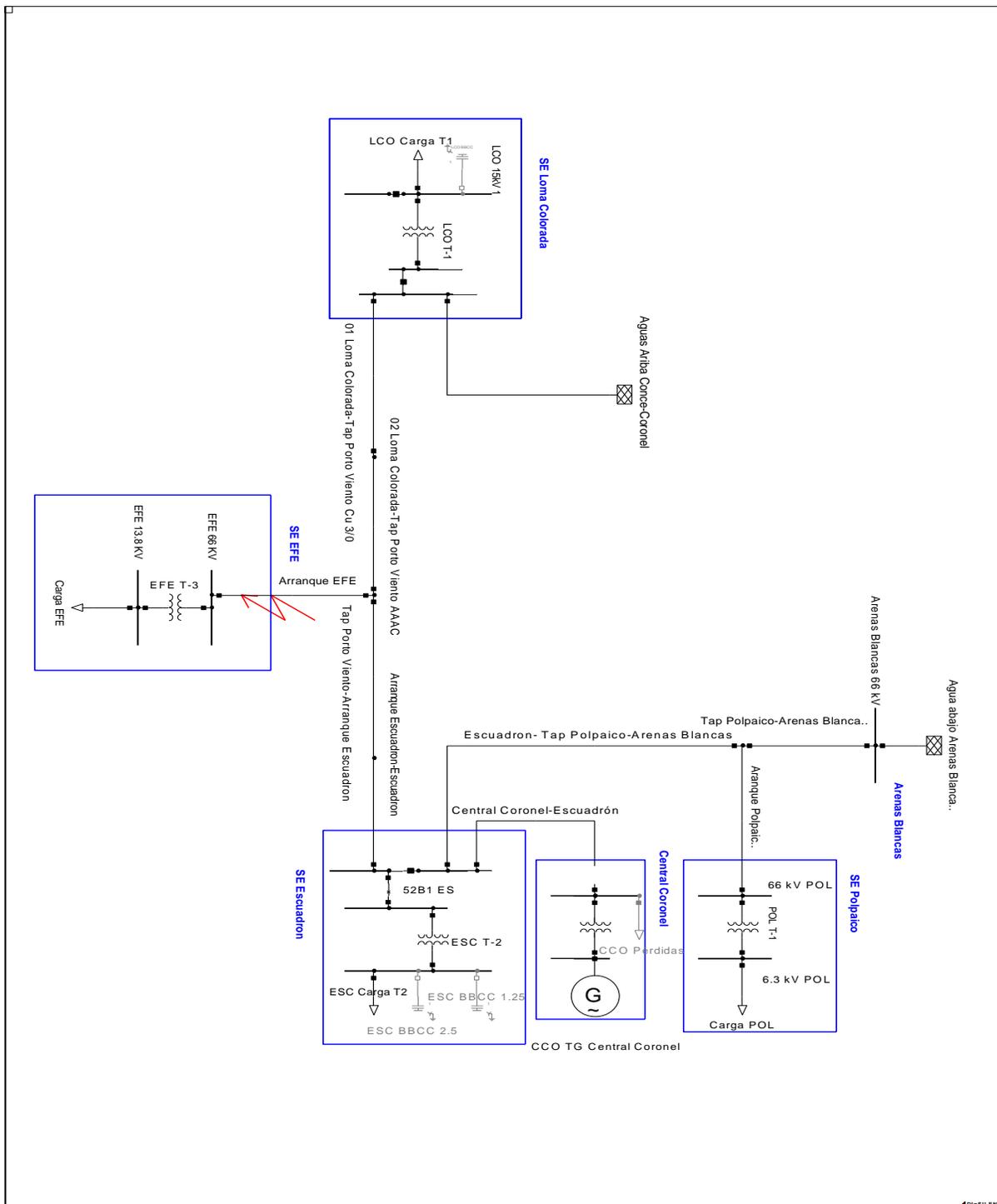


Figura 4.6 Falla 80% Zona N°3

## CAPÍTULO 5: VERIFICACIÓN ALCANCES DE PROTECCIONES EXISTENTES

Considerando que el transformador de Lomas Coloradas tiene una protección de distancia 21/21N (SEL-311C), la cual posee una zona 1 instantánea en dirección EFE, la zona 2 protegerá en la misma dirección pero cubriendo una distancia mayor hasta escuadrón con un tiempo de retardo de 0,4 segundos, la zona 3 abarca hasta la línea en dirección a Arenas Blancas con un tiempo de retardo de 1 segundo y por último una zona 4 (reverse) está también es instantánea pero la dirección de protección es hacia las líneas de Concepción-Coronel.

En la figura 5.1 y 5.2 se pueden apreciar las zonas mencionadas.

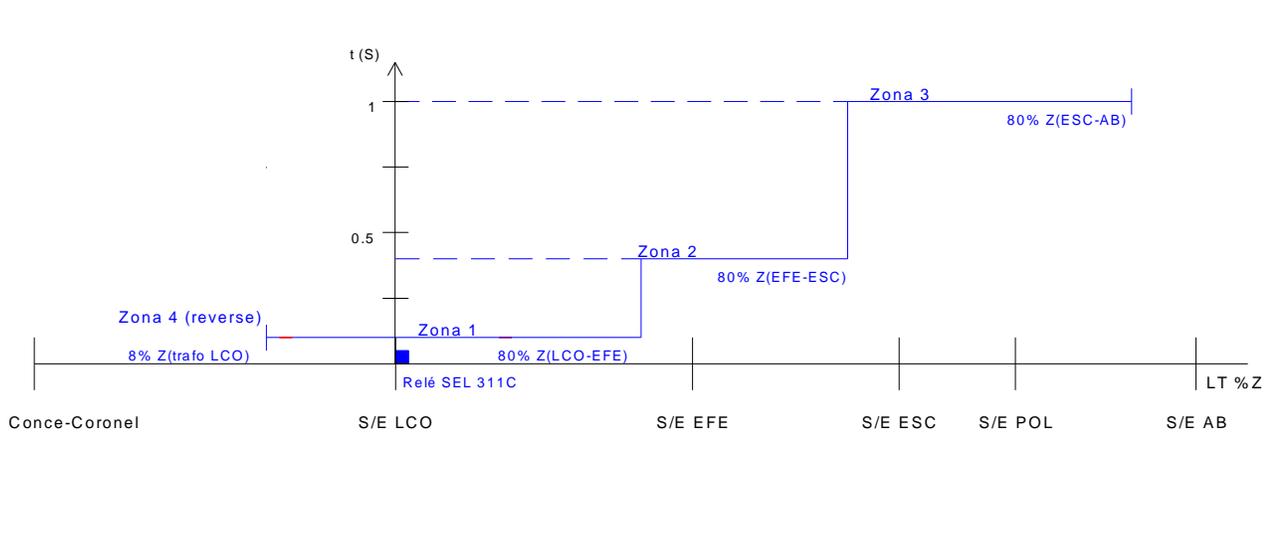


Figura 5.1 zonas de operación del relé ubicado en Lomas Coloradas (LCO).

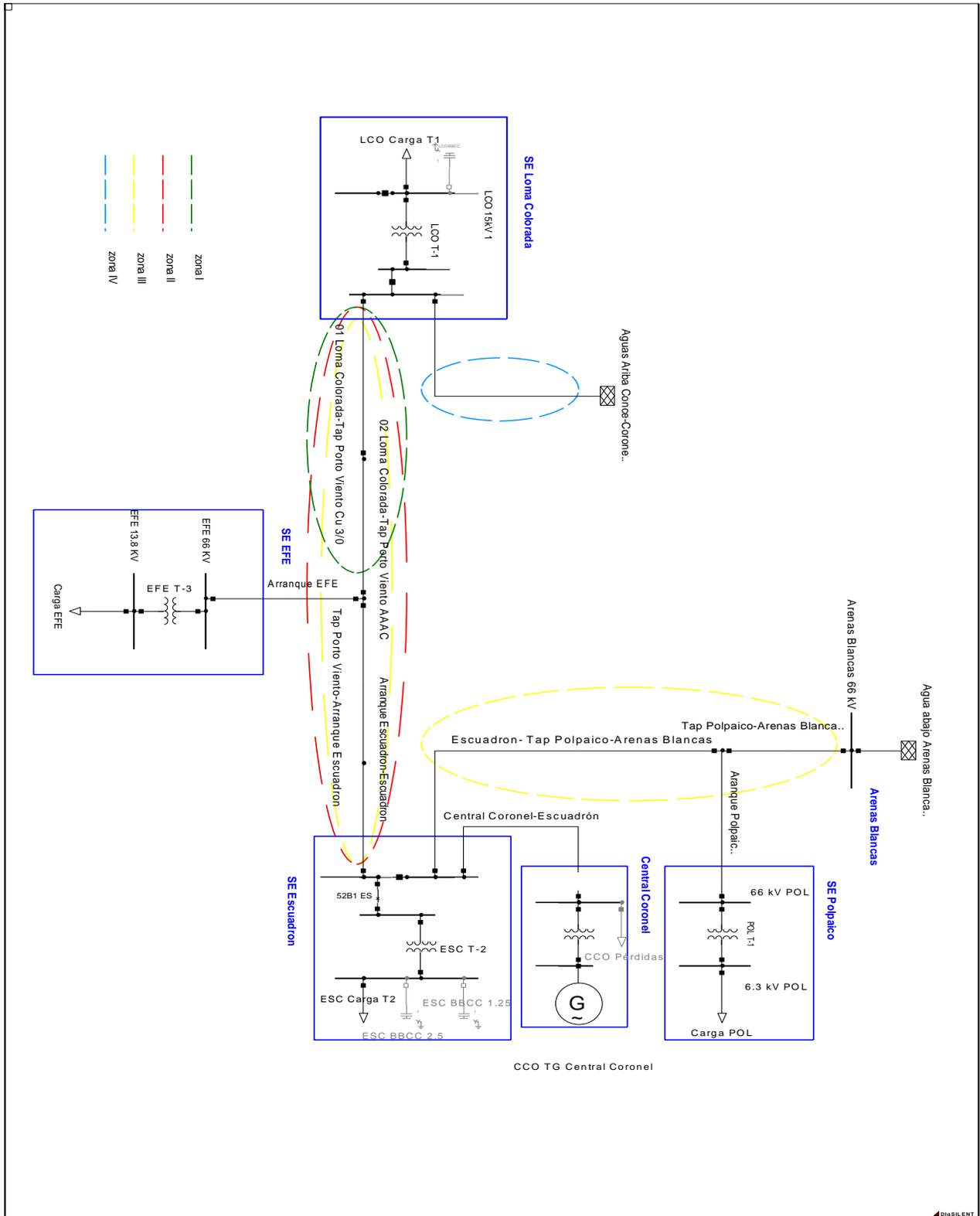


Figura 5.2 Alcance Protecciones de Distancia 21/21N

En acuerdo a lo mencionado anteriormente, se necesita verificar la coordinación de las protecciones de las líneas de 66 kV. Por lo tanto, se realizarán simulaciones de fallas trifásicas, bifásicas y monofásicas, con el fin de comprobar que operen en coordinación a las protecciones preexistente al proyecto.

En la tabla 5.1 se muestran los tiempos de operación de las protecciones involucradas para el escenario con generación para la línea Lomas Coloradas-EFE.

Tabla 5.1 Tiempos de operación Zona N°1 con generación

			Tiempos de operación de protecciones para fallas en 80% Tramo LCO - EFE					
Paño	Protección	Elemento	$t_{Icc3\phi}$ [S]	$t_{Icc2\phi}$ [S]	$t_{Icc1\phi}$ [S]	$t_{Icc2\phi-t}$ [S]	$t_{Icc1\phi}$ con Rf 25Ω [S]	$t_{Icc1\phi}$ con Rf 25Ω [S]
LCO	SEL311C	21/21N	0,015	0,015	0,015	0,015	-	-
	SEL311C	51	0,223	0,223	-	-	-	-
	SEL311C	51N	-	-	0,291	0,291	0,576	0,576
ESC	SEL311C	21/21N	0,015	0,015	0,515	0,515	-	-
	SEL311C	51	0,503	0,503	-	-	-	-
	SEL311C	51N	-	-	0,503	0,503	0,68	0,679

En la tabla 5.2 se muestran los tiempos de operación de las protecciones involucradas para el escenario sin generación para la línea Lomas Coloradas –EFE.

Tabla 5.2 Tiempos de Operación Zona N°1 sin generación

			Tiempos de operación de protecciones para fallas en 80% Tramo LCO - EFE					
Paño	Protección	Elemento	$t_{Icc3\phi}$ [S]	$t_{Icc2\phi}$ [S]	$t_{Icc1\phi}$ [S]	$t_{Icc2\phi-t}$ [S]	$t_{Icc1\phi}$ con Rf 25Ω [S]	$t_{Icc1\phi}$ con Rf 25Ω [S]
LCO	SEL311C	21/21N	0,015	0,015	0,015	0,015	-	-
	SEL311C	51	0,223	0,223	-	-	-	-
	SEL311C	51N	-	-	0,306	0,299	0,583	0,58
ESC	SEL311C	21/21N	0,015	0,015	0,515	0,515	-	-
	SEL311C	51	0,503	0,503	-	-	-	-
	SEL311C	51N	-	-	0,503	0,503	0,689	0,684

En la tabla 5.3 se muestran los tiempos de operación de las protecciones involucradas para el escenario con generación para la línea EFE- Escuadrón.

Tabla 5.3 Tiempos de Operación Zona N°2 con generación

			Tiempos de operación de protecciones para fallas en 80% Tramo EFE - ESC					
Paño	Protección	Elemento	$t_{Icc3\phi}$ [S]	$t_{Icc2\phi}$ [S]	$t_{Icc1\phi}$ [S]	$t_{Icc2\phi-t}$ [S]	$t_{Icc1\phi}$ con Rf 25 $\Omega$ [S]	$t_{Icc1\phi}$ con Rf 25 $\Omega$ [S]
LCO	SEL311C	21/21N	0,415	0,415	0,415	0,415	-	-
	SEL311C	51	0,223	0,223	-	-	-	-
	SEL311C	51N	-	-	0,428	0,372	2,985	2,853
ESC	SEL311C	21/21N	0,015	0,015	0,015	0,015	-	-
	SEL311C	51	0,503	0,503	-	-	-	-
	SEL311C	51N	-	-	0,503	0,503	0,608	0,603

En la tabla 5.4 se muestran los tiempos de operación de las protecciones involucradas para el escenario sin generación para la línea EFE- Escuadrón.

Tabla 5.4 Tiempos de Operación Zona N°2 sin generación

			Tiempos de operación de protecciones para fallas en 80% Tramo EFE - ESC					
Paño	Protección	Elemento	$t_{Icc3\phi}$ [S]	$t_{Icc2\phi}$ [S]	$t_{Icc1\phi}$ [S]	$t_{Icc2\phi-t}$ [S]	$t_{Icc1\phi}$ con Rf 25 $\Omega$ [S]	$t_{Icc1\phi}$ con Rf 25 $\Omega$ [S]
LCO	SEL311C	21/21N	0,415	0,415	0,415	0,415	-	-
	SEL311C	51	0,223	0,223	-	-	-	-
	SEL311C	51N	-	-	0,479	0,399	3,121	2,888
ESC	SEL311C	21/21N	0,015	0,015	0,015	0,015	-	-
	SEL311C	51	0,503	0,503	-	-	-	-
	SEL311C	51N	-	-	0,503	0,503	0,615	0,607

En la tabla 5.5 se muestran los tiempos de operación de las protecciones involucradas para el escenario con generación para la línea EFE.

Tabla 5.5 Tiempos de Operación Zona N°3 con generación

			Tiempos de operación de protecciones para fallas en 80% Tramo EFE					
Paño	Protección	Elemento	$t_{Icc3\phi}$ [S]	$t_{Icc2\phi}$ [S]	$t_{Icc1\phi}$ [S]	$t_{Icc2\phi-t}$ [S]	$t_{Icc1\phi}$ con Rf 25Ω [S]	$t_{Icc1\phi}$ con Rf 25Ω [S]
LCO	SEL311C	21/21N	0,415	0,415	0,415	0,415	-	-
	SEL311C	51	0,223	0,223	-	-	-	-
	SEL311C	51N	-	-	0,376	0,344	1,354	1,33
ESC	SEL311C	21/21N	0,015	0,015	0,015	0,015	-	-
	SEL311C	51	0,503	0,503	-	-	-	-
	SEL311C	51N	-	-	0,503	0,503	0,618	0,614

En la tabla 5.6 se muestran los tiempos de operación de las protecciones involucradas para el escenario sin generación para la línea EFE.

Tabla 5.6 Tiempos de Operación Zona N°3 sin generación

			Tiempos de operación de protecciones para fallas en 80% Tramo EFE					
Paño	Protección	Elemento	$t_{Icc3\phi}$ [S]	$t_{Icc2\phi}$ [S]	$t_{Icc1\phi}$ [S]	$t_{Icc2\phi-t}$ [S]	$t_{Icc1\phi}$ con Rf 25Ω [S]	$t_{Icc1\phi}$ con Rf 25Ω [S]
LCO	SEL311C	21/21N	0,415	0,415	0,415	0,415	-	-
	SEL311C	51	0,223	0,223	-	-	-	-
	SEL311C	51N	-	-	0,411	0,363	1,39	1,343
ESC	SEL311C	21/21N	0,015	0,015	0,015	0,015	-	-
	SEL311C	51	0,503	0,503	-	-	-	-
	SEL311C	51N	-	-	0,503	0,503	0,625	0,617

Los tiempos de operación de las protecciones fueron obtenidos al ingresar los cálculos de los capítulos anteriores mediante el software DigsilentPower Factory versión 14.1.

En las tablas pre insertadas, se puede verificar que los ajustes de alcances de las protecciones están de forma correcta, considerando en esto una buena selectividad y coordinación de las misma. Se logra ver aquello en los tiempos de operación de las protecciones para cada una de las fallas simuladas, permitiendo que opere la protección a instalar en Lomas Coloradas y en forma de respaldo deberá actuar la protección existente en Escuadrón con un cierto tiempo de retardo, en el caso de fallas de alta impedancia operara la protección más cercana a la falla y a modo de respaldo la protección que se encuentre más alejada.

## CAPÍTULO 6: RESUMEN DE AJUSTE DE PROTECCIONES

### 6.1.- Introducción

De acuerdo a los ajustes de las protecciones involucradas entre las S/E Lomas Coloradas y Escuadrón, las curvas de coordinación obtenidas, se muestran en el anexo C. En este capítulo se muestran algunas de estas curvas de coordinación, específicamente las curvas de fase para la falla trifásica en ambos escenarios analizados, y las curvas de ajuste de distancia. También se pueden apreciar las tablas resumen para el relé en estudio de la S/E Lomas Coloradas y el relé instalado en la S/E Escuadrón.

### 6.2.- Resumen S/E Lomas Coloradas

En la tabla 6.2 se pueden apreciar las distintas configuraciones del relé SEL 311-C de distancia y sobre corriente.

Tabla 6.1 Resumen de ajustes

Relé		311C
Protección de Distancia		21/21N
Relación TT/CC		400/5
Relación TT/PP		66000/110
Característica de fase		Mho
Característica residual		Mho + Cuadrilateral
Primera zona fase Mho	Alcance	0,476 ( $\Omega_{SEC}$ )
	Tiempo de operación	Instantáneo
Segunda zona fase Mho	Alcance	0,631 ( $\Omega_{SEC}$ )
	Tiempo de operación	0,4 (s)
Tercera zona fase Mho	Alcance	0,906 ( $\Omega_{SEC}$ )
	Tiempo de operación	1 (s)
Cuarta zona fase Mho	Alcance	0,338 ( $\Omega_{SEC}$ )
	Tiempo de operación	Instantáneo
Primera zona residual Mho	Alcance	0,536 ( $\Omega_{SEC}$ )
	Tiempo de operación	Instantáneo
Segunda zona residual Mho	Alcance	0,635 ( $\Omega_{SEC}$ )
	Tiempo de operación	0,4 (s)

Tercera zona residual Mho	Alcance	0,939 ( $\Omega_{SEC}$ )
	Tiempo de operación	1 (s)
Cuarta zona residual Mho	Alcance	0,380 ( $\Omega_{SEC}$ )
	Tiempo de operación	Instantáneo
Primera zona residual cuadrilateral	Cuadrilátera X-R	0,466 – 0,176 ( $\Omega_{SEC}$ )
	Tiempo de operación	Instantáneo
Segunda zona residual cuadrilateral	Cuadrilátera X-R	0,552 – 0,306 ( $\Omega_{SEC}$ )
	Tiempo de operación	0,4 (s)
Tercera zona residual cuadrilateral	Cuadrilátera X-R	0,809 – 0,422 ( $\Omega_{SEC}$ )
	Tiempo de operación	1 (s)
Cuarta zona residual cuadrilateral	Cuadrilátera X-R	0,379 - 0,253 ( $\Omega_{SEC}$ )
	Tiempo de operación	Instantáneo
Sobre corriente de Fase		51
51P	Pickup $A_{SEC}$	1
51PC	Curva	U5 short time inverse
51PTD	Time dial	5
Sobre corrienteResidual		51N
51GP	Pickup $A_{SEC}$	1
51GC	Curva	U5 short time inverse
51GTD	Time dial	5

### 6.3.- Resumen S/E Escuadrón

En la tabla 6.3 se pueden apreciar las distintas configuraciones del relé SEL 311C instalado en la S/E Escuadrón.

Tabla 6.3 Resumen de ajustes

Relé		311C
Protección de Distancia		21/21N
Relación TT/CC		600/5
Relación TT/PP		69000/115
Característica de fase		Mho
Característica residual		Mho + Cuadrilateral
Primera zona fase Mho	Alcance	0,462 ( $\Omega_{SEC}$ ) Forward
	Tiempo de operación	Instantáneo
Segunda zona fase Mho	Alcance	0,83 ( $\Omega_{SEC}$ ) Forward
	Tiempo de operación	0,4 (s)
Tercera zona fase Mho	Alcance	2,26 ( $\Omega_{SEC}$ ) Forward
	Tiempo de operación	1 (s)
Cuarta zona fase Mho	Alcance	0,47 ( $\Omega_{SEC}$ ) Reverse
	Tiempo de operación	Instantáneo
Primera zona residual Mho	Alcance	0,462 ( $\Omega_{SEC}$ ) Forward
	Tiempo de operación	Instantáneo
Segunda zona residual Mho	Alcance	0,83 ( $\Omega_{SEC}$ ) Forward
	Tiempo de operación	0,4 (s)
Tercera zona residual Mho	Alcance	2,26 ( $\Omega_{SEC}$ ) Forward
	Tiempo de operación	1 (s)
Cuarta zona residual Mho	Alcance	0,47 ( $\Omega_{SEC}$ ) Reverse
	Tiempo de operación	Instantáneo
Sobrecorriente de Fase		51
51P	Pickup $A_{SEC}$	0,38 ( $A_{Sec}$ )
51PC	Curva	U3 Very inverse
51PTD	Time dial	5

Sobrecorriente Residual		51N
51GP	Pickup A <sub>SEC</sub>	0,38 (A <sub>Sec</sub> )
51GC	Curva	U3 Very inverse
51GTD	Time dial	5

#### 6.4.- Curvas de coordinación

Para una simulación de cortocircuito realizado en el tramo de arranque EFE hasta la correspondiente S/E de la empresa EFE se adjuntan las curvas de tiempo sobre corriente y el diagrama se X-R de los relés ubicados en Lomas Colorada y Escuadrón.

En el siguiente diagrama se muestra la ubicación exacta de cada relé y la localización del cortocircuito realizado.

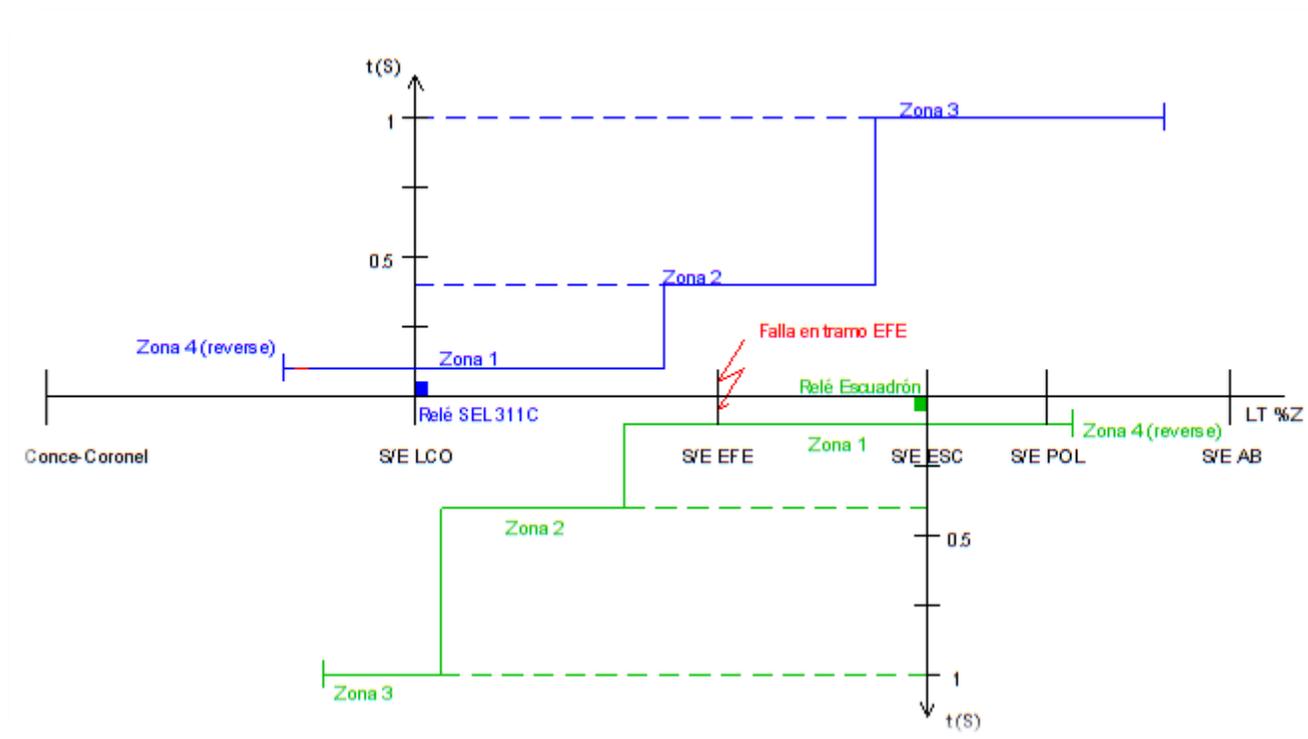


Figura 6.1 ubicación de la falla monofásica en el tramo de la empresa EFE.

La curva que se ilustra en la figura 6.2 representa una gráfica de tiempo sobre corriente, en la cual se puede observar los tiempos de operación de la unidad 51 correspondiente a los relés ubicados en la S/E Escuadrón y el nuevo relé en la E/S Lomas Coloradas (LCO), ante una eventual falla monofásica realizada a una distancia del 80% de la línea de transmisión del tramo EFE. Para esta falla se consideró con los aportes del generador.

La curva que se denota de color rojo corresponde a la del nuevo relé de Lomas Colorada, la cual su unidad 51 opera a los 0.376 segundos para un cortocircuito mencionado anteriormente de una magnitud de 800 ( $A_{PRIM}$ ) que ve el relé.

También es importante describir la curva en azul, que le pertenece al relé situado en la S/E Escuadrón, este se demora en operar 0.503 segundos para la misma falla, pero debido a una distinta ubicación y transformadores de medida la corriente de falla que percibe el relé es de 7622,3 ( $A_{PRIM}$ ).

Cabe destacar, que según los ajustes introducidos a los relés para una correcta selectividad en el momento de falla, opere uno antes y posteriormente en el caso de no operar el otro relé debe intervenir con un pequeño tiempo de retardo.

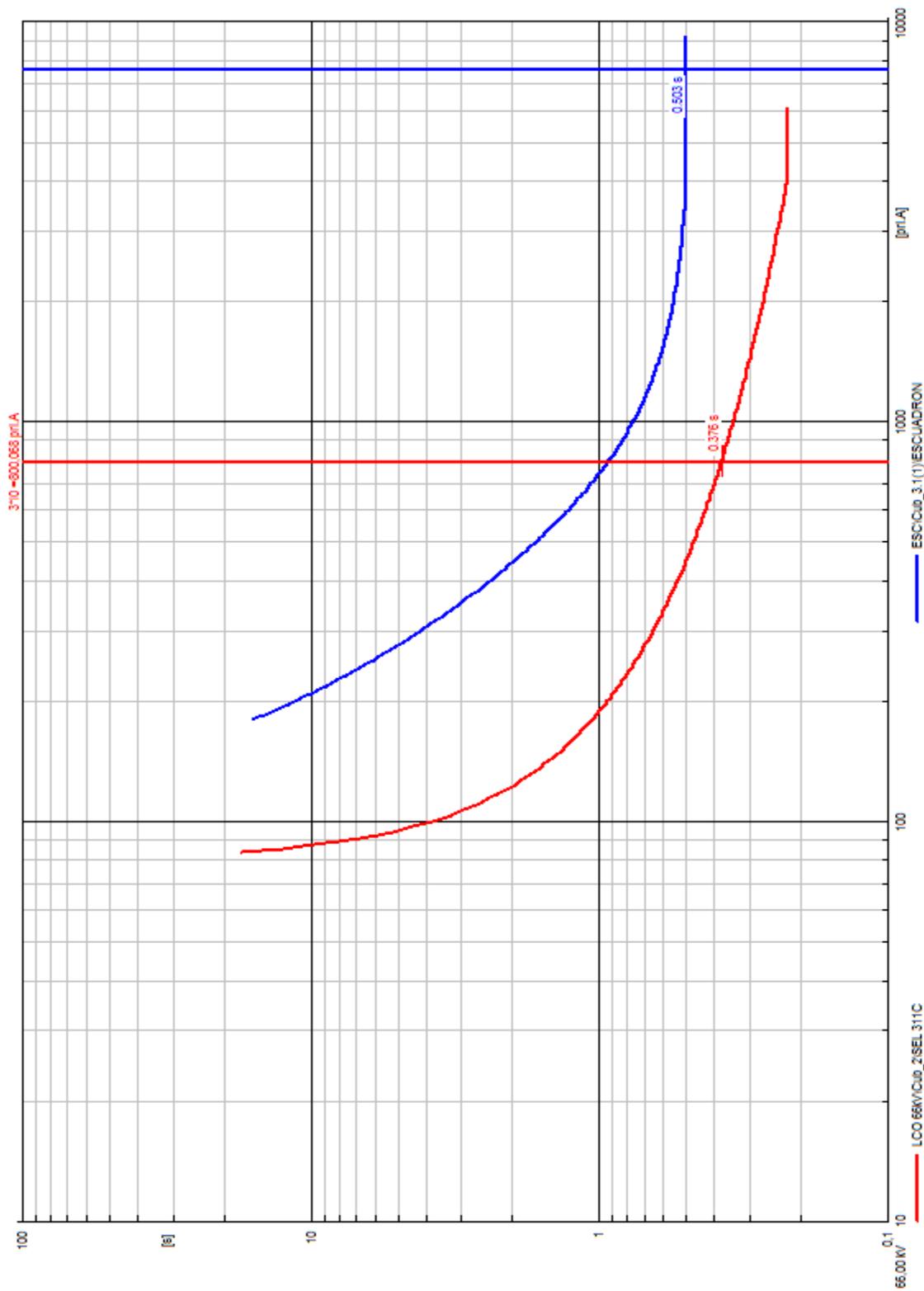


Figura 6.2 Curva tiempo vs corriente

El diagrama de X/R de la figura 6.3 nos permite observar con claridad la ubicación de la falla en las distintas zonas de operación de la unidad 21/21N de los relés y sus respectivos tiempos de disparo.

Las áreas en rojo corresponden a las zonas de operación del relé ubicado en Lomas Coloradas, en la ilustración se puede apreciar la falla se encuentra dentro de la segunda Zona, con un tiempo de disparo de 0,015 segundos, además se ajustó el relé para que en su segunda zona de operación tenga un retardo de 0,4 segundos, por lo tanto su tiempo de operación será de 0,415 segundos.

Por otra parte tenemos las áreas encerradas en azul correspondiente al relé de Escuadrón, se logra observar que la falla se localiza dentro de la primera zona de la unidad 21/21N del dicho relé, el cual interviene con un tiempo de disparo de 0,015 segundos, además el relé estaba previamente ajustado para que en su primera zona operara de manera instantánea, dando así un tiempo de operación de 0,015 segundos.

Los relés ven la falla en distintas zonas de operación debido a que la impedancia medida al momento del cortocircuito resulta ser mayor a la impedancia ajustada para la zona por lo cual la detecta la zona dos esto en el caso del relé de correspondiente a la S/E de Lomas Coloradas. Analizando el relé de Escuadrón ocurre algo similar pero con la diferencia que la impedancia vista en el momento de falla resulta ser menor a la impedancia ajustada para la zona uno.

Del diagrama podemos decir que ambos relés actúan sin problemas ante fallas en el sistema eléctrico ya que los dispositivos bajo los ajustes realizados en sus unidades lógicas están operando en tiempos y zonas diferentes permitiendo una adecuada selectividad y coordinación.

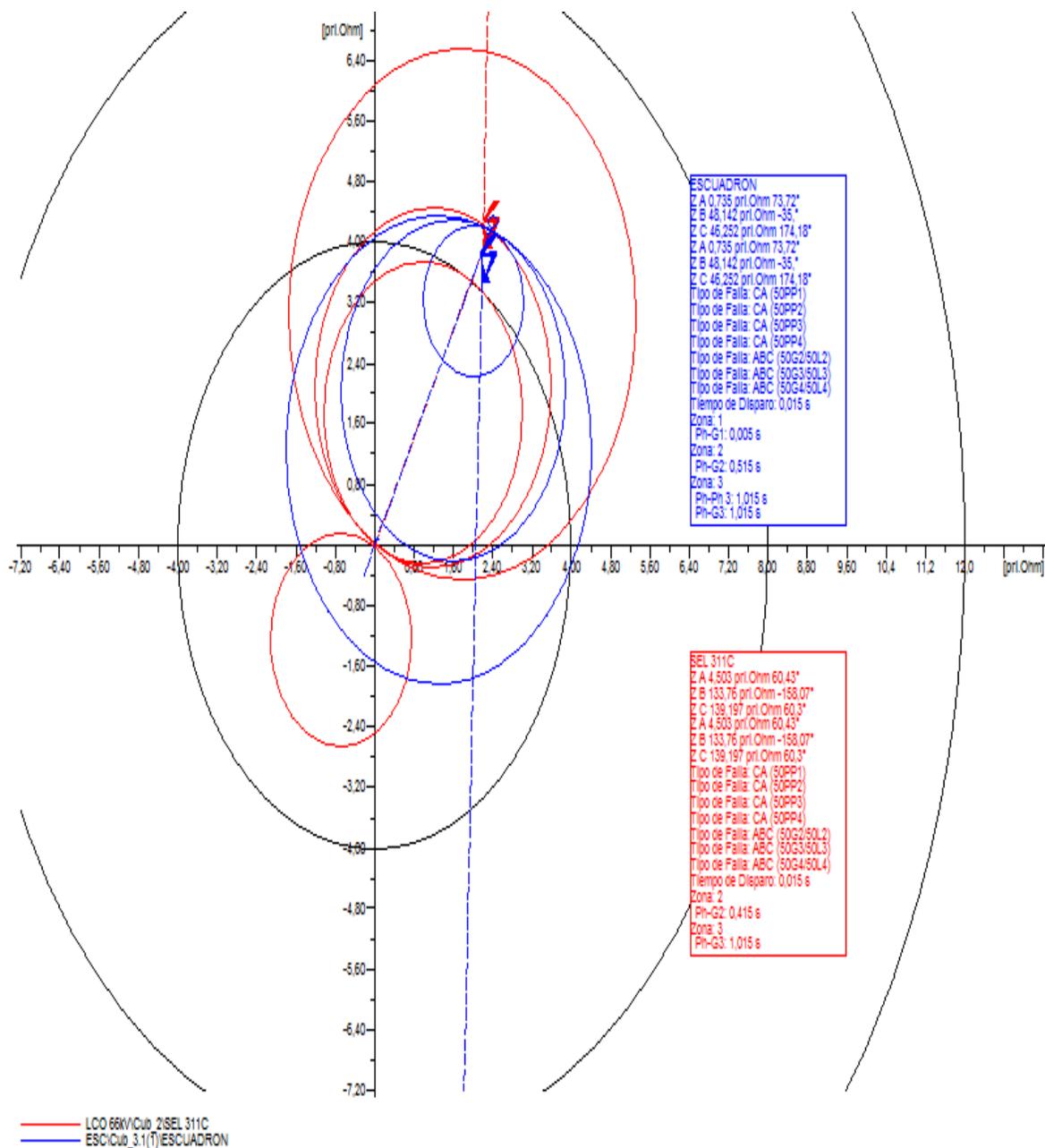


Figura 6.3 Diagrama relés de distancia 21/21N.

Todas las curvas de coordinación restantes se encuentran en el anexo B, las cuales se interpretan de la misma forma de la cual se realizó en este subcapítulo.

## **CAPITULO 7: COMENTARIOS Y CONCLUSIONES**

Este seminario de título tiene como objetivo principal la implementación del relé SEL 311C en la S/E de lomas Coloradas, con el fin de dar protección a la líneas de transmisión existentes entre Lomas Coloradas y Escuadrón y además prestarle protección a la nueva S/E perteneciente a la empresa de ferrocarriles EFE.

Con el propósito de brindar la mejor protección, permitiendo una buena selectividad entre las protecciones y no existan inconvenientes con los alcances del relé calculados en el capítulo 3, fue que se realizó un estudio de fallas y coordinación de las protección existentes y por instalar. Después de este estudio se concluye que los ajustes supuestos para el relé SEL 311C proyectado estaban correctos. Esto significa que existe una buena coordinación y selectividad en las fallas simuladas a través del software DigsilentPowerFactory versión 14.1, como se puede verificar en el capítulo 5.

## **Bibliografía**

[1] Manual Relé SEL-311C. 2005 Schweitzer engineering laboratories, INC.

Internet: WWW.SELINC.COM.

[2] John J. Grainger, William D. Stevenson Jr. " Análisis de Sistema de Potencia", Editorial McGraw Hill, Edición en Español, 1996

[3] Juan Godoy "Carpeta de Protecciones Zona Bio-Bio" 2012 - Transnet S.A.

## **ANEXOS**

## ANEXO A

### A.1-Protecciones S/E Lomas Colorada

En este anexo se muestran las tablas con los ajustes existentes en las protecciones estudiadas de la S/E Lomas Coloradas y S/E Escuadrón obtenidas de la Carpeta de Protecciones Zona Bio-Bio de Transnet S.A.

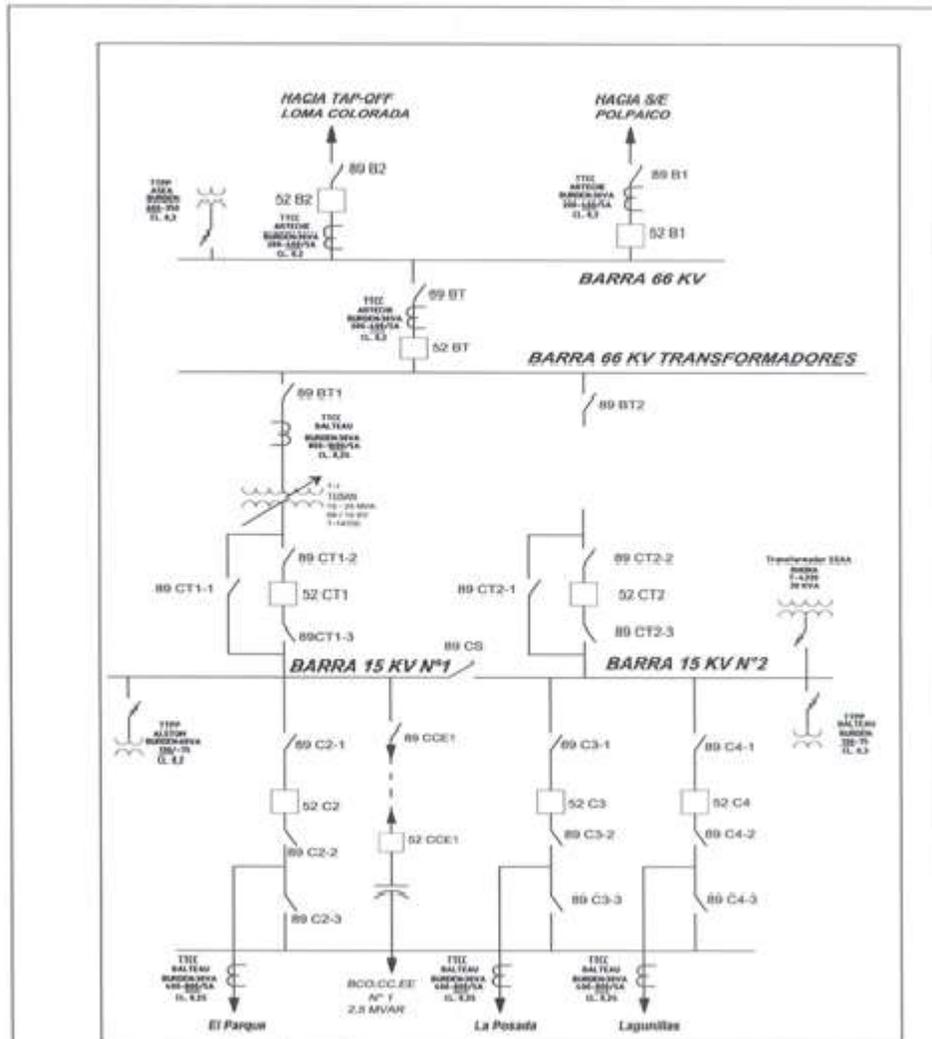


Figura A.1 Diagrama unilineal Lomas Coloradas

### 1.- INTERRUPTOR GENERAL 66 kV (52 BT)

Interruptor ABB tipo EDF.

	Protección de fase	Protección Residual
TTCC	400/5	400/5
Relé	IAC51B	PJC11A
Pick up (A)	400	80
Tap	5	1
Lever	3,5	¼ Ciclo (0,005 seg)
Elem. Instantáneo	3200 (A)	4526 (A)

### 2.-INTERRUPTOR 66 kV S/E ARENAS BLANCAS (52 B1)

Interruptor ALSTOM tipo S1-72.5 F1/2520

	Protección de fase	Protección Residual
TTCC	400/5	400/5
Relé	DPU-200R	
Pick up (A)	320	80
Tap	4	1
Lever	8(STI)	3(I)
Elem. Instantáneo	3200(P)	1000(P)
Reconexion	1 Reconexion 10 Segundos	

Este interruptor cuenta con un selector, para cambiar los ajustes de protección por los siguientes ajustes alternativos:

	Protección de fase	Protección Residual
Pick up	320 (A)	40 (A)
Tap	4 Curva Short time inverse	0.5 Curva Short time inverse
Lever	4	1
Elem. Instantáneo	10 x Iop (3200 A)	15 x Iop (600 A)

### 3.- INTERRUPTOR GENERAL 15 kV N°1 (52 CT1)

Interruptor MERLIN GERIN tipo FB4

	Protección de fase	Protección Residual
TTCC	1200/5	1200/5
Relé	SEL-351	
Pick up (A)	1200	200
Tap	5	0.83
Lever	0,2 C1 (Standard Inverse)	14,5 U2 (Inverse)
Elem. Instantáneo	Inoperativo	Inoperativo

**4. - INTERRUPTOR GENERAL 15 kV N°2 (52 CT2)**

Interruptor MERLIN GERIN tipo FB4

	Protección de fase	Protección residual
TTCC	600/5	600/5
Relé	IAC51A	IAC53B
Pick up (A)	600	240
Tap	5	2
Lever	4	10
Elem. Instantáneo	Inoperativo	Inoperativo

**5.- INTERRUPTOR 15 kV ALIMENTADOR INDUSTRIAS (52 C1)**

Reconectador electrónico Cooper Power tipo RXE, con unidad de control FORM 3A.

Protección de fase	
Corriente mínima de trip	400 (A)
Dos Operaciones de curva	116+0,03
Protección Residual	
Corriente mínima de trip	25 (A)
Dos Operaciones de curva	141

**6.- INTERRUPTOR 15 kV ALIMENTADOR EL PARQUE (52 C2)**

Reconectador electrónico Cooper Power tipo RXE, con unidad de control FORM 3A.

Protección de fase	
Corriente mínima de trip	400 (A)
Dos Operaciones de curva	
Protección Residual	
Corriente mínima de trip	25 (A)
Dos Operaciones de curva	11

**7.- INTERRUPTOR 15 kV ALIMENTADOR LA POSADA (52 C3)**

Reconectador electrónico Cooper Power tipo VWE, con unidad de control FORM 3A.

Protección de fase	
Corriente mínima de trip	300 (A)
Dos Operaciones de curva	
Protección Residual	
Corriente mínima de trip	25 (A)
Dos Operaciones de curva	11

## 8.- INTERRUPTOR 15 kV ALIMENTADOR LAGUNILLAS (52 C4)

Reconectador electrónico Cooper Power tipo WE, con unidad de control FORM 3A.

Protección de fase	
Corriente mínima de trip	400 (A)
Dos Operaciones de curva	
Protección Residual	
Corriente mínima de trip	25 (A)
Dos Operaciones de curva	141

Se conoce como capacidad de paso a la capacidad que tiene un aparato de protección, interruptor de potencia o fusible, de asumir a una corriente nominal. “Asumir” significa soportar, dominar.

### CAPACIDAD DE PASO INTERRUPTORES SUBESTACIÓN LOMAS COLORADAS

Interruptor	Capacidad de paso		Voltaje (kV)
	(A)	(MVA)	
General 66 kV 52 BT	400	45,72	66
General 66 kV Arenas Blancas	320	36,58	66
General 15 kV N° 1	1200	31,17	15
General 15 kV N° 2	600	15,58	15
Alimentador Industrias	400	10,39	15
Alimentador El Parque	400	10,39	15
Alimentador La Posada	300	7,79	15
Alimentador Lagunillas	400	10,39	15

- Notas:
- La capacidad de paso es calculada en función de la corriente de operación
  - Cuando se sobrepasa la capacidad nominal del conductor de salida, el sistema opera con sobrecarga controlada por lo que se requiere de supervisión permanente.
  - Todos los interruptores reciben órdenes de Apertura y Cierre mediante sistema SCADA

**A.2- Protecciones S/E Escuadrón**

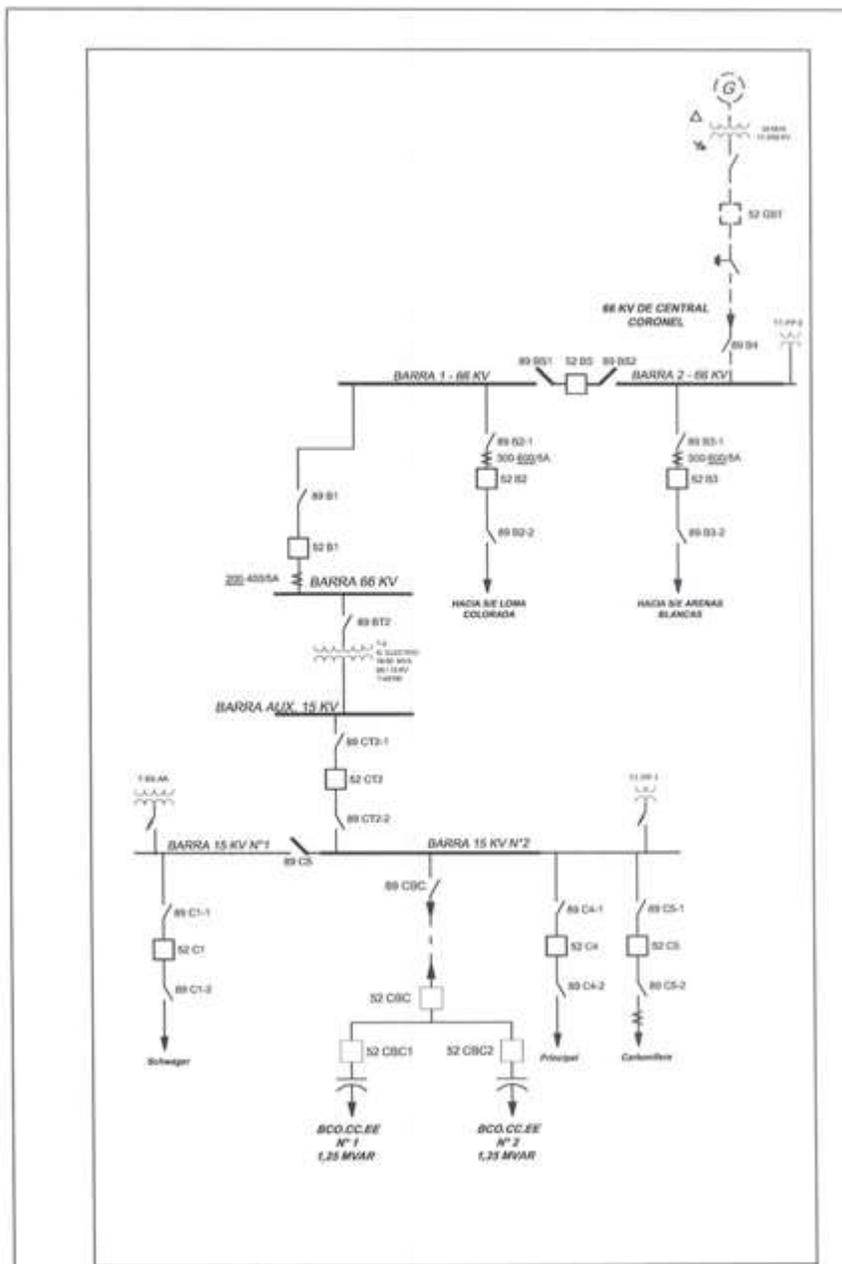


Figura A.2 diagrama unilineal Escuadrón

## 1.- INTERRUPTOR GENERAL 66 kV (52 B1)

Interruptor ALSTOM tipo GL309F1/2520VR.

	Protección de fase	Protección Residual
TTCC	---	200/5
Relé	---	SEL-387
Pick up (A)	---	40
Tap	---	1
Lever	---	0,8(U5)
Elem. Instantáneo	---	Inoperativo

Protección de distancia Relé SEL - 311C

En las siguientes tablas se muestran los ajustes de primera y segunda fase para las características mho-fase y mho-tierra

Características mho, fase

Zona	Alcance en Ohm-primario	Alcance en Ohm-secundario	Tiempo de Operación	Dirección de operación
Primera Fase	22,2	2,96	Instantáneo	Desde Bushing lado primario de Transformador
Segunda Fase	33,3	4,44	0,9 seg.	Desde Bushing lado primario de Transformador

Las razones de transformación que tendrán los transformadores de medidas del relé serán las siguientes:

Transformador de tensión = 600

Transformador de corriente = 80

Características mho, tierra

Zona	Alcance en Ohm-primario	Alcance en Ohm-secundario	Tiempo de Operación	Dirección de operación
Primera Fase	23,4	3,12	Instantáneo	Desde Bushing lado primario de Transformador
Segunda Fase	35,1	4,68	0,9 seg.	Desde Bushing lado primario de Transformador

Las razones de transformación que tendrán los transformadores de medida del relé serán las siguientes:

Transformador de tensión = 600

Transformador de corriente = 80

## 2.- INTERRUPTOR 66 kV LINEA LOMA COLORADA (52 B2)

Protección de distancia Relé SEL-311C

Zona	Alcance en Ohm-primario	Alcance en Ohm-secundario	Tiempo de Operación	% Línea	Dirección de Operación
Primera fase Residual	2,31	0,462	Instantáneo	80% Línea Escuadrón-Arenas blancas	Desde la barra de Escuadrón a S/E Lomas Coloradas
Segunda fase Residual	4,12	0,83	0,5seg	100% Línea Escuadrón-Coronel	Desde la barra de Escuadrón a S/E Lomas Coloradas
Tercera fase Residual	11,3	2,26	1,0 seg	50% Línea Escuadrón-Horcones	Desde la barra de Escuadrón a S/E Lomas Coloradas
Cuarta fase Residual	2,35	0,47	Instantáneo	7,5% de T1/T2 S/E Escuadrón	Desde barra de 66 kV S/E Escuadrón hacia atrás, hacia el generador de PSEG y por tanto también hacia un % de la impedancia de transformadores de Escuadrón

Las razones de transformación que tendrán los transformadores de medidas del relé serán las siguientes:

Transformador de tension = 600

Transformador de corriente = 120

Unidad direccional residual 51GT del relé SEL-311C

Unidad de tiempo	
Corriente mínima de Operación (prim.) en 66 kV	45 (A)

Pick-up	0.38(A-sec)
Curva	Very Inverse (U3)
Lever	5.0
Reset	N
Unidad instantánea (67G1):	
Corriente mínima de Operación (prim.) en 66 kV	2500 (A)
Pick-up	20,8 (A-sec)

Sobre corriente de respaldo, para condiciones de emergencia por pérdida de potenciales (67PT2\*Iop).

$$50P2P = 4.6 \text{ (A-sec)}$$

$$50P2P = 4.6 \times 120 = 552 \text{ (A-prim.)}$$

### 3.- INTERRUPTOR 66 kV LINEA ARENAS BLANCAS (52 B3)

Protección de distancia Relé SEL-311C

Zona	Alcance en Ohm-primario	Alcance en Ohm-secundario	Tiempo de Operación	% Línea	Dirección de Operación
Primera fase Residual	2,31	0,462	Instantáneo	80% Línea Escuadrón-Arenas blancas	Desde la barra de Escuadrón a S/E Arenas blancas
Segunda fase Residual	4,12	0,83	0,5seg	100% Línea Escuadrón-Coronel	Desde la barra de Escuadrón a S/E Arenas blancas
Tercera fase Residual	11,3	2,26	1,0 seg	50% Línea Escuadrón-Horcones	Desde la barra de Escuadrón a S/E Arenas blancas
Cuarta fase Residual	2,35	0,47	Instantáneo	7,5% de T1/T2 S/E Escuadrón	Desde barra de 66 kV S/E Escuadrón hacia atrás, hacia el generador de PSEG y por tanto también hacia un % de la impedancia de transformadores de Escuadrón

Las razones de transformación que tendrán los transformadores de medidas del relé serán las siguientes:

Transformador de tensión = 600

Transformador de corriente = 120

Unidad direccional residual 51GT del relé SEL-311C

Unidad de tiempo	
Corriente mínima de Operación (prim.) en 66 kV	45 (A)
Pick-up	0.38(A-sec)
Curva	Very Inverse (U3)
Lever	5.0
Reset	N
Unidad instantánea (67G1):	
Corriente mínima de Operación (prim.) en 66 kV	2500 (A)
Pick-up	20,8 (A-sec)

Sobre corriente de respaldo, para condiciones de emergencia por pérdida de potenciales (67PT2\*Iop).

$$50P2P = 4.6 \text{ (A-sec)}$$

$$50P2P = 4.6 \times 120 = 552 \text{ (A-prim.)}$$

**4.- INTERRUPTOR GENERAL 15 kV (52 CT2)**

Interruptor en vacio ABB RBKR 15 kV, 1200 (A), 20 kA RUPT.

	Protección de fase	Protección Residual
TTCC	1600/5	1600/5
Relé	SEL-551	
Pick up (A)	1408	160
Tap	4,4	0,5 Tpo. Def 0,7 seg
Lever	Curva U1	---
Elem. Instantáneo	Inoperativo	Inoperativo
Reconexion	Sin Reconexion	

	Protección de fase	Protección Residual
TTCC	1600/5	1600/5
Relé	SEL-387	
Pick up (A)	1395,2	172,8
Tap	4,36	0,54 Tpo. Def 0,7 seg
Lever	Curva U1	---
Elem. Instantáneo	Inoperativo	Inoperativo
Reconexion	Sin Reconexion	

### 5.- INTERRUPTOR 15 kV ALIMENTADOR SCHWAGER

Reconectador electrónico Cooper Power tipo KYLE NOVA 15, con relé FORM 6.

Ajustes básicos:

Protección de fase	
Corriente mínima trip (Ipu)	400 (A)
Corriente mínima de trip alternativa	480 (A)
Dos operaciones de curva	117 (B)
Disparo por alta corriente de coci de fase	Deshabilitado.
Protección residual	
Corriente mínima trip (Ipu)	25 (A)
Corriente mínima de trip alternativa	25 (A)
Dos operaciones curva	131 (9)
Disparo por alta corriente de coci de fase	Deshabilitado.

### 6.- INTERRUPTOR 15 kV ALIMENTADOR PRINCIPAL (52 C4)

Reconectador electrónico Cooper Power tipo KYLE NOVA 15, con relé FORM 6.

Ajustes básicos:

Protección de fase	
Corriente mínima trip (Ipu)	400 (A)
Corriente mínima de trip alternativa	480 (A)
Dos operaciones de curva	117 (B)
Disparo por alta corriente de coci de fase	Deshabilitado.
Protección residual	
Corriente mínima trip (Ipu)	25 (A)
Corriente mínima de trip alternativa	25 (A)
Dos operaciones curva	131 (9)
Disparo por alta corriente de coci de fase	Deshabilitado.

### 7.- INTERRUPTOR 15 kV ALIMENTADOR CARBONIFERA (52 C5)

Reconectador electrónico Cooper Power tipo KYLE NOVA 15, con relé FORM 6.

Ajustes básicos:

Protección de fase	
Corriente mínima trip (Ipu)	400 (A)
Corriente mínima de trip alternativa	480 (A)

Dos operaciones de curva	117 (B)
Disparo por alta corriente de coci de fase	Deshabilitado.
Protección residual	
Corriente mínima trip (Ipu)	25 (A)
Corriente mínima de trip alternativa	25 (A)
Dos operaciones curva	131 (9)
Disparo por alta corriente de coci de fase	Deshabilitado.

Se conoce como capacidad de paso a la capacidad que tiene un aparato de protección, interruptor de potencia o fusible, de asumir a una corriente nominal. “Asumir” significa soportar, dominar.

### CAPACIDAD DE PASO INTERRUPTORES SUBESTACIÓN ESCUADRÓN

Interruptor	Capacidad de paso		Voltaje (kV)
	(A)	(MVA)	
General 66 kV	---	---	66
Línea Loma Colorada	---	---	66
Línea Arenas Blancas	---	---	66
General 15 kV	1396	36.27	15
Alimentador Schwager	400	10.39	15
Alimentador Principal	400	10.39	15
Alimentador Carbonífera	400	10.39	15

Notas: - La capacidad de paso es calculada en función de la corriente de operación-

- Cuando se sobrepasa la capacidad nominal del conductor de salida, el sistema con sobrecarga controlada por lo que se requiere de supervisión permanente.

## ANEXO B

### B.1-Curvas de coordinación para distintos escenario

Este anexo muestra las curvas obtenidas del software Digsilent para las fallas en los distintos Escenarios

#### Falla al 80% del tramo Lomas Coloradas - EFE con generación

Fallas trifásicas

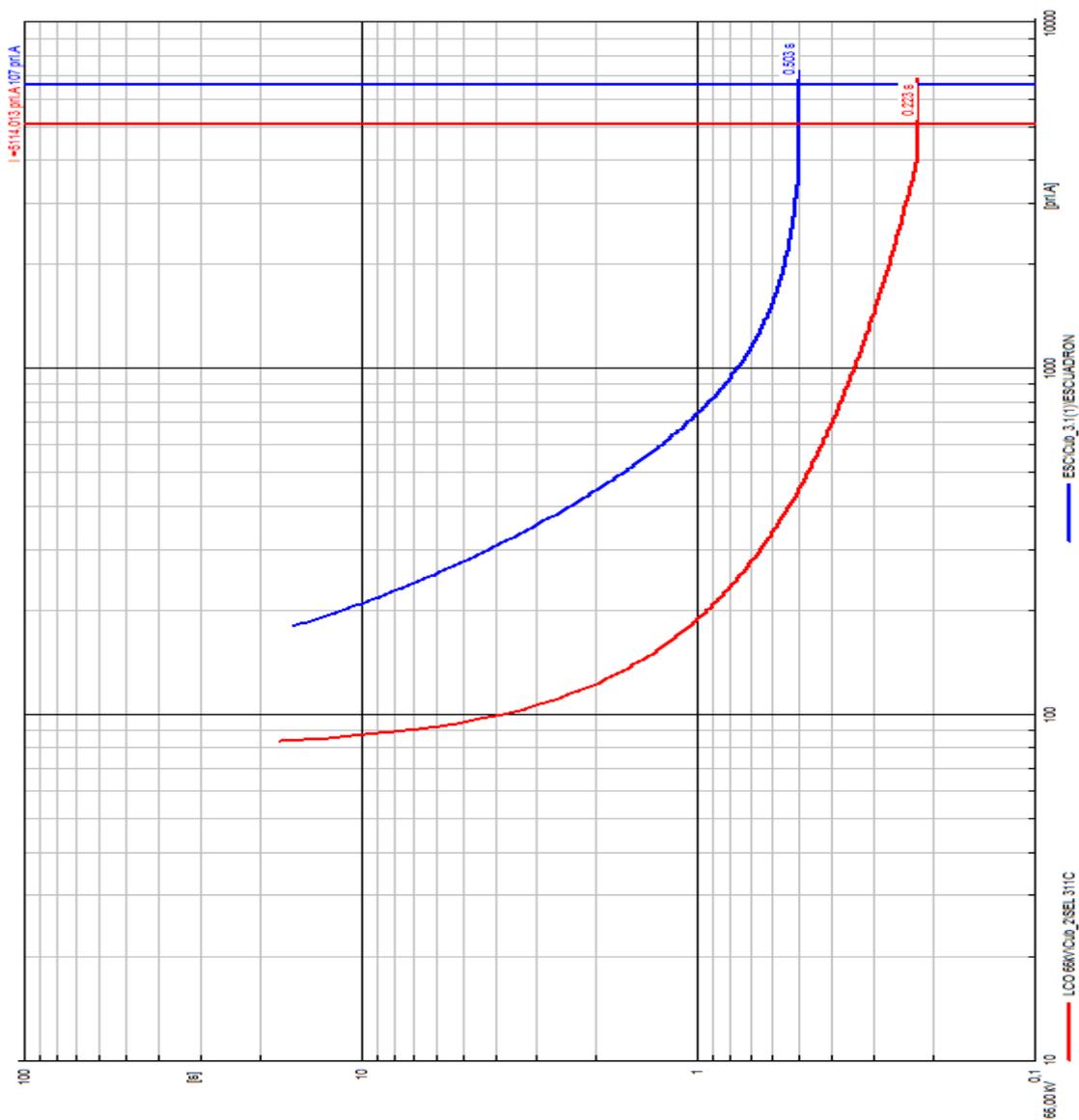


Figura B.1 Relé de sobrecorriente 51/51N

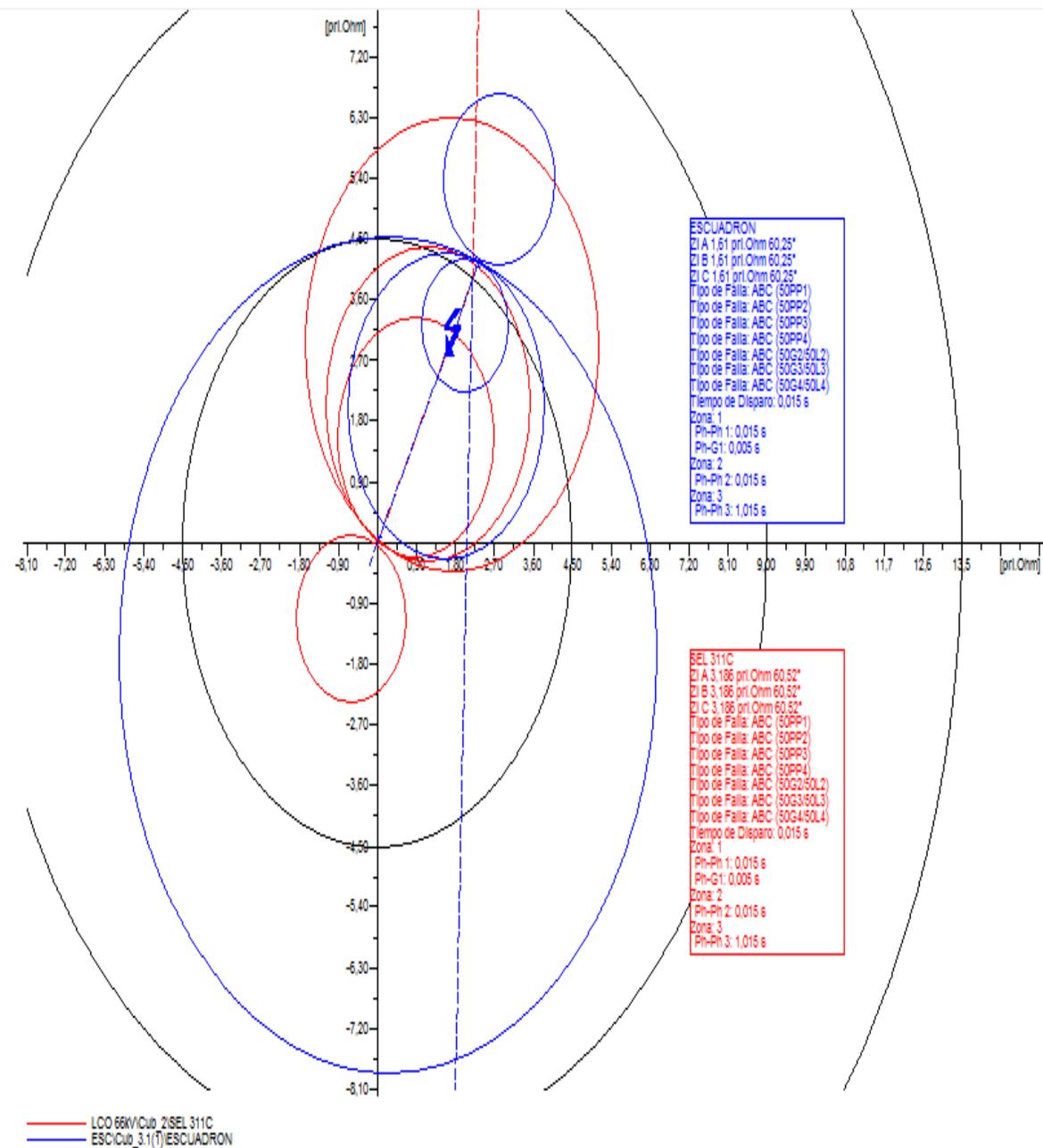


Figura B.2 Relé de distancia 21/21N

Fallas bifásicas

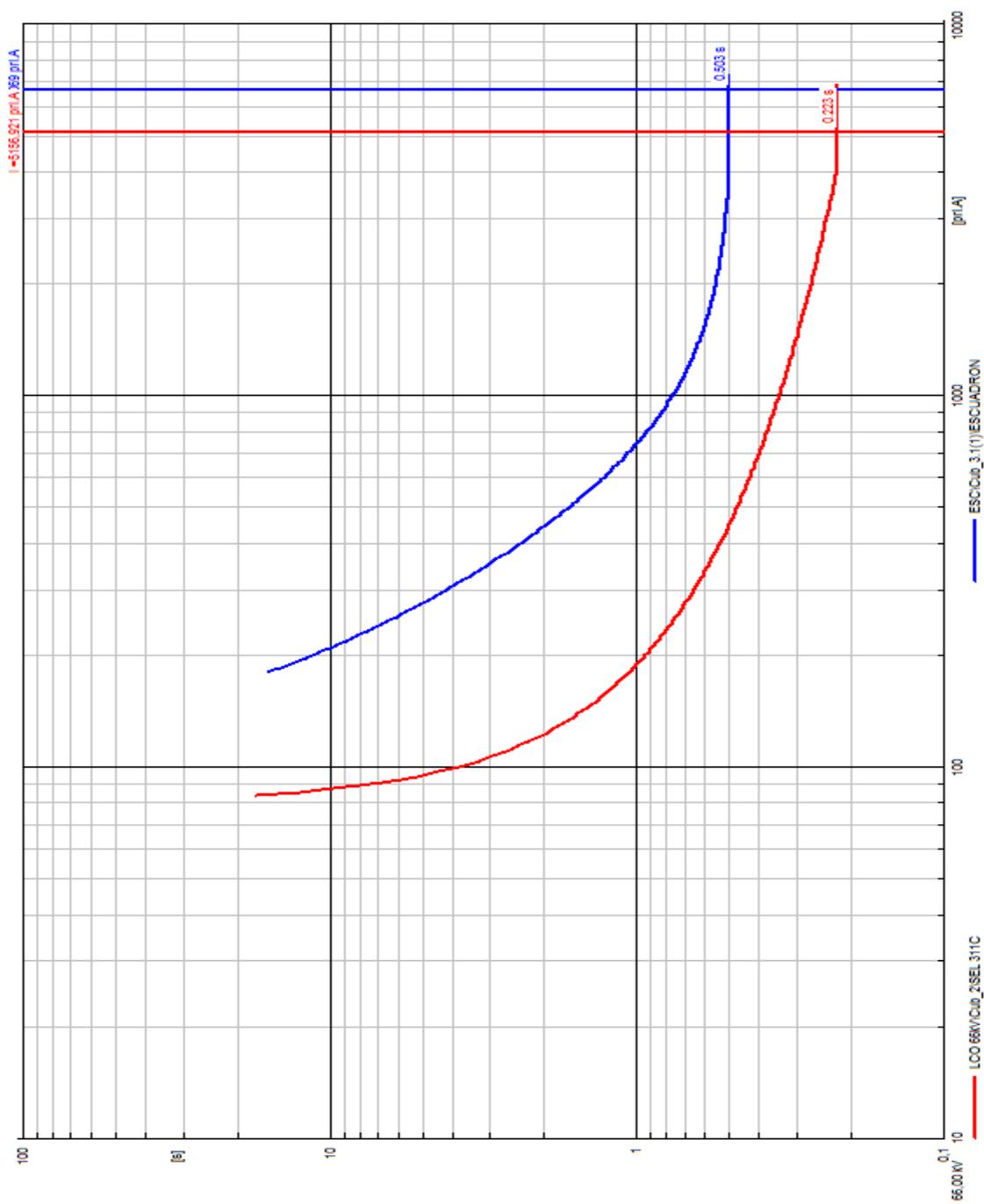


Figura B.3 Relé de sobrecorriente 51/51N

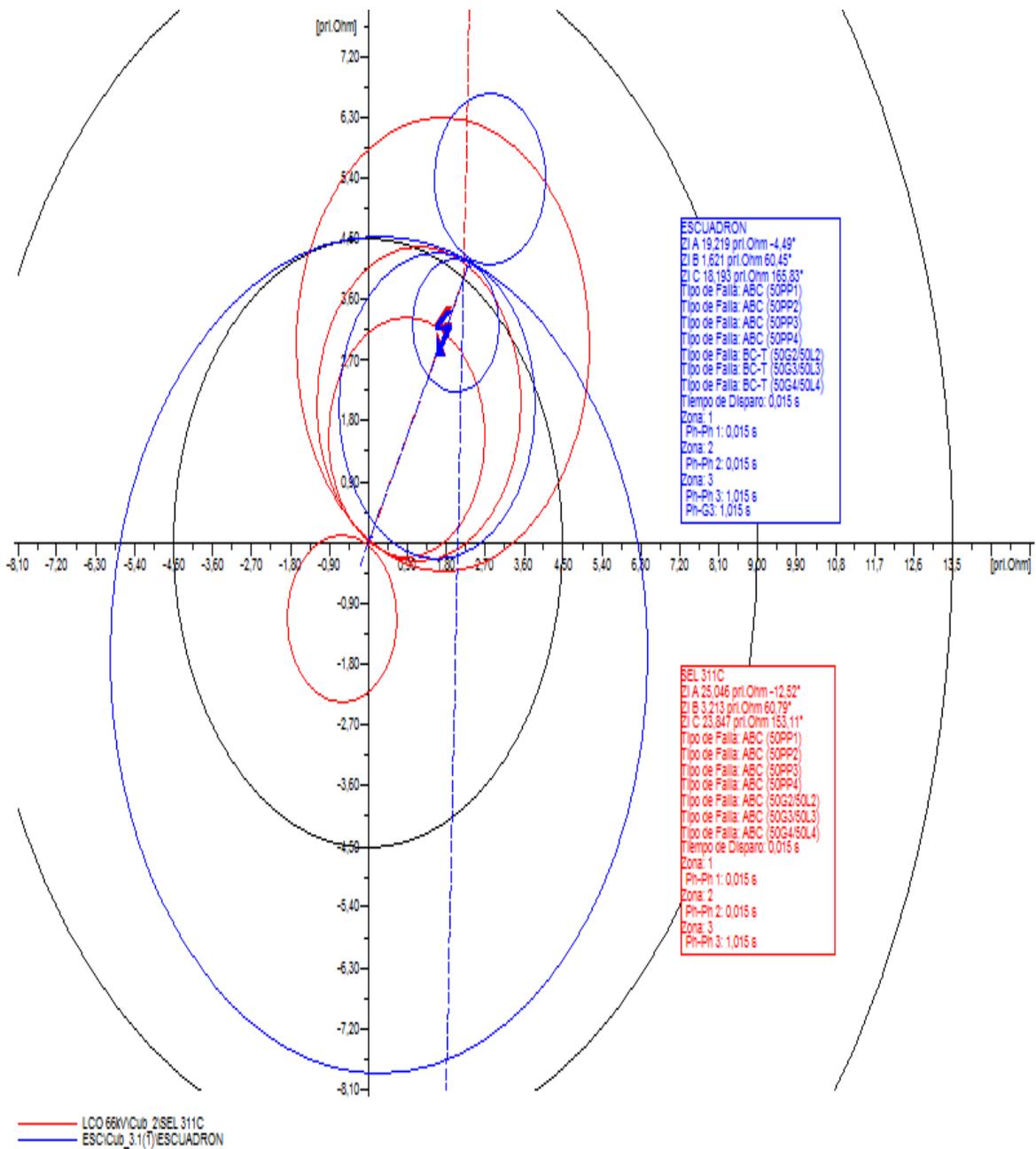


Figura B.4 Relé de distancia21/21N

Fallas monofásicas

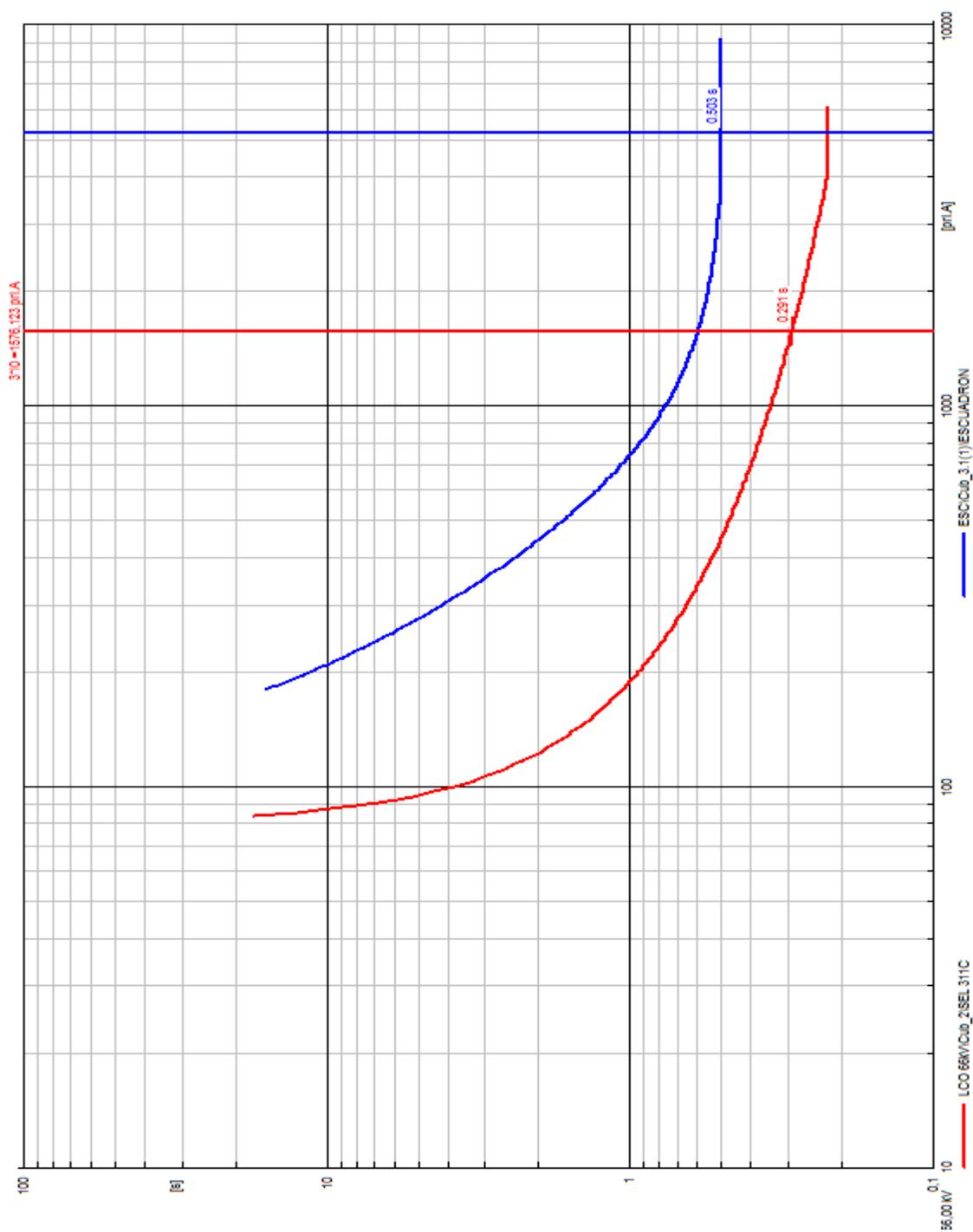


Figura B.5 Relé de sobrecorriente 51/51N

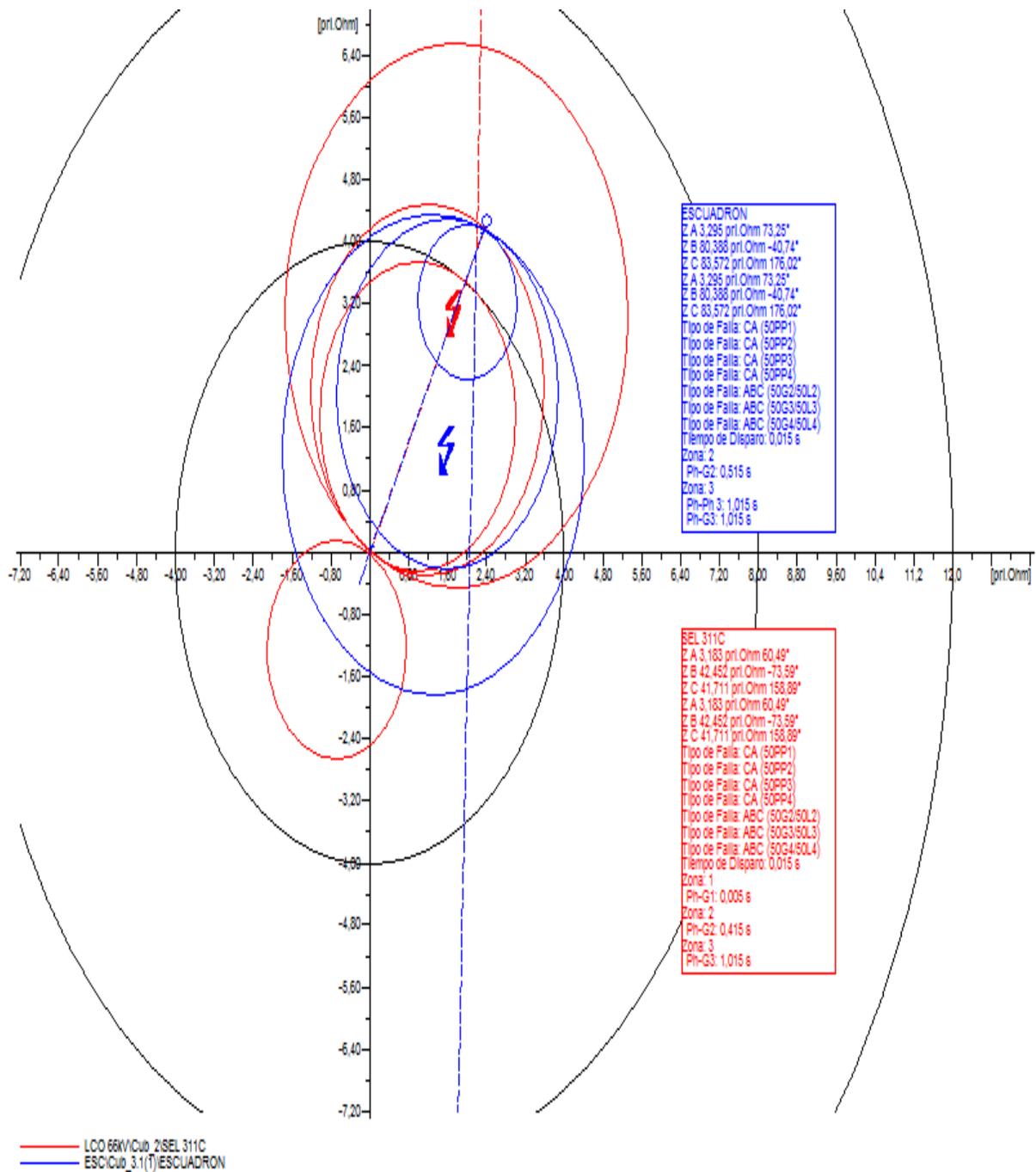


Figura B.6 Relé de distancia21/21N

Fallas bifásicas a tierra

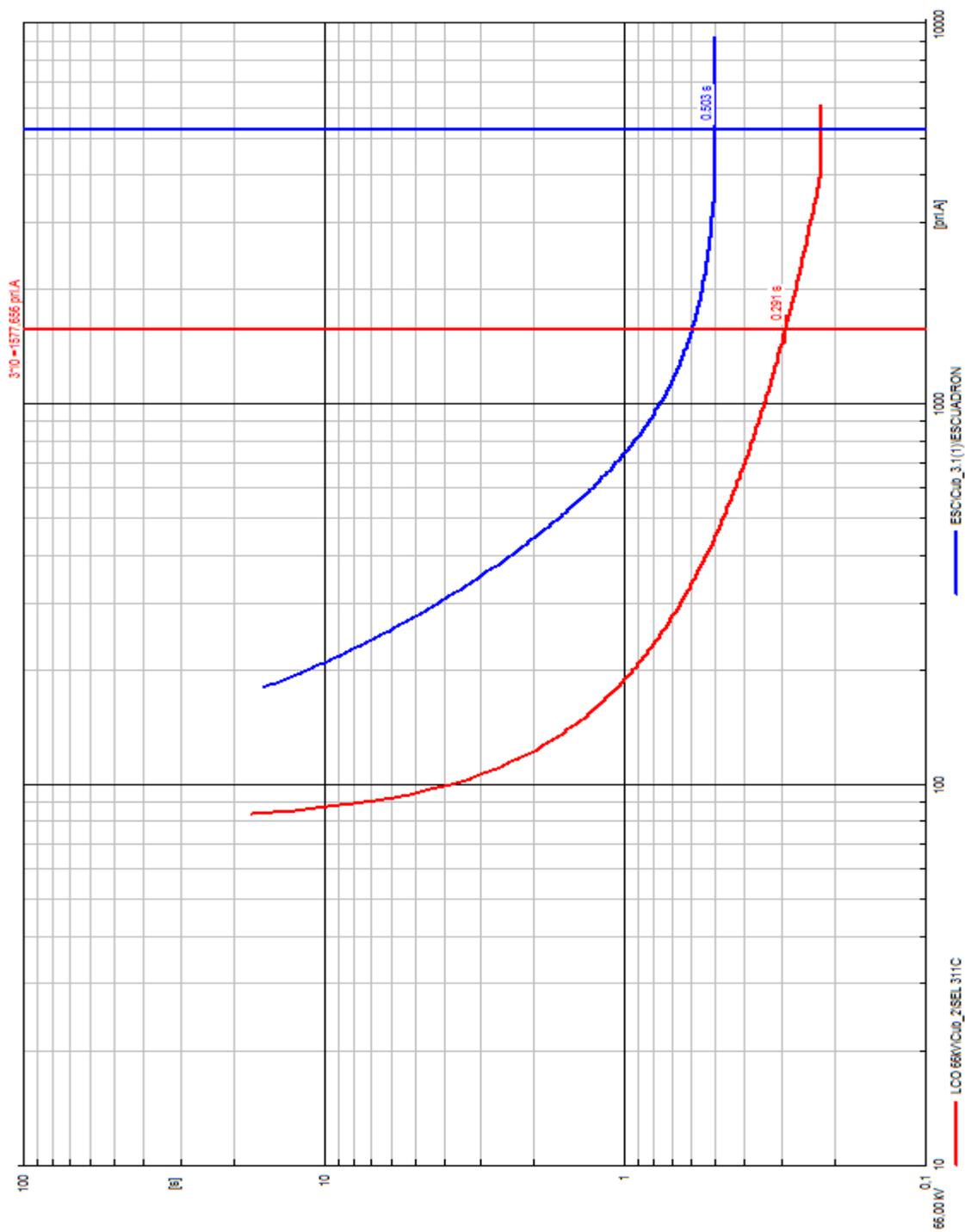


Figura B.7 Relé de sobrecorriente51/51N

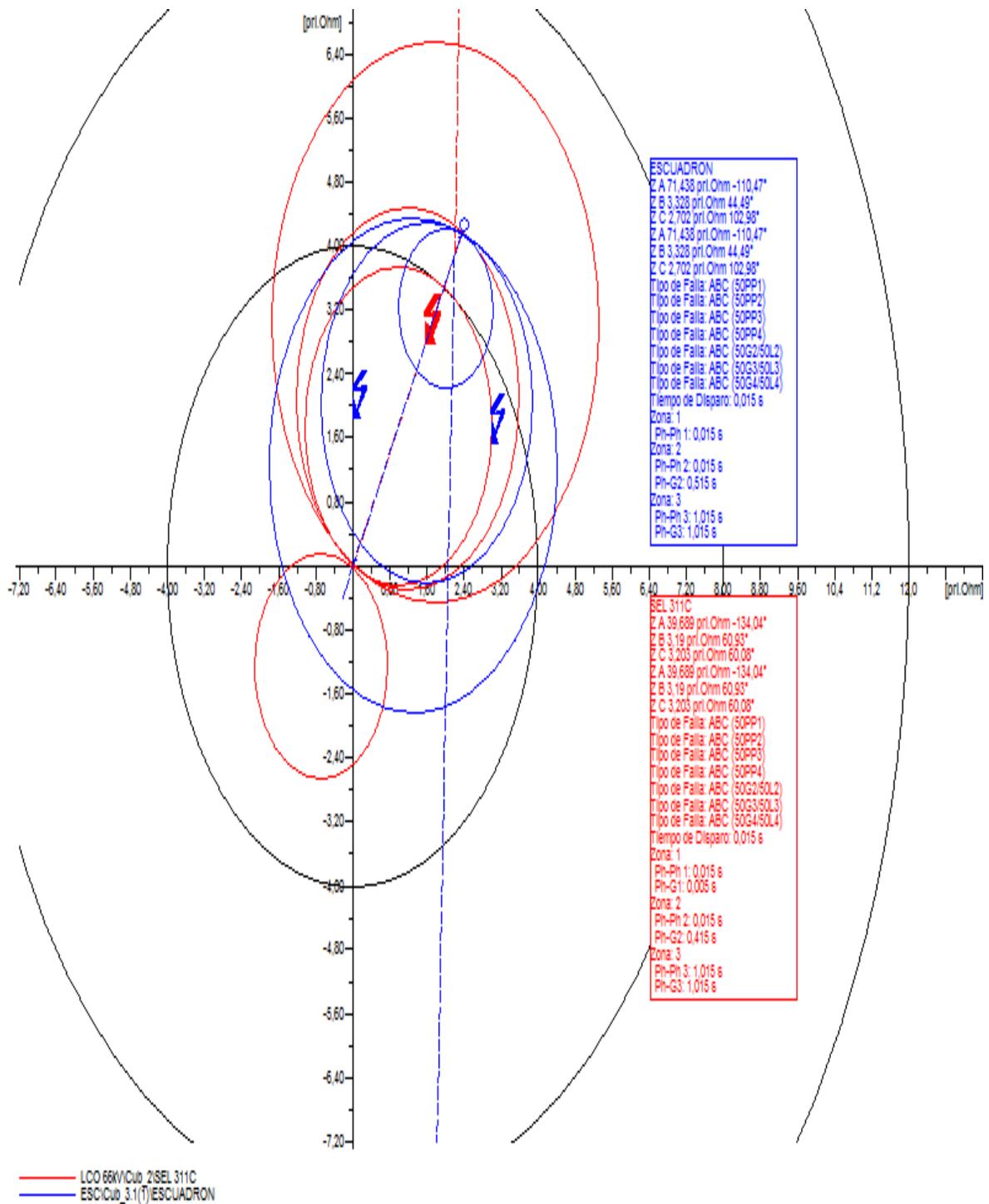


Figura B.8 Relé de distancia21/21N

Fallas monofásicas con impedancia de 25 Ω

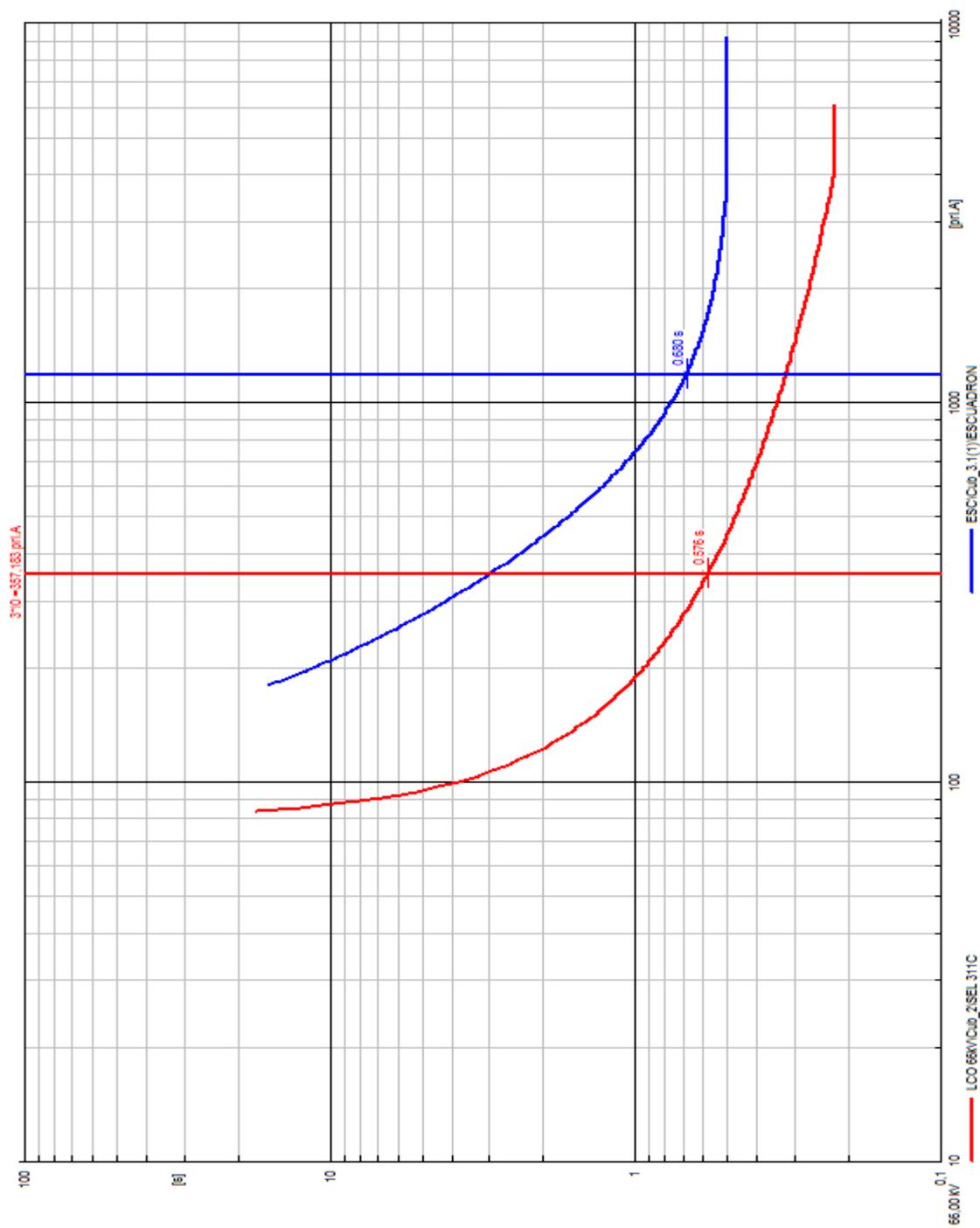


Figura B.9 Relé de sobrecorriente 51/51N

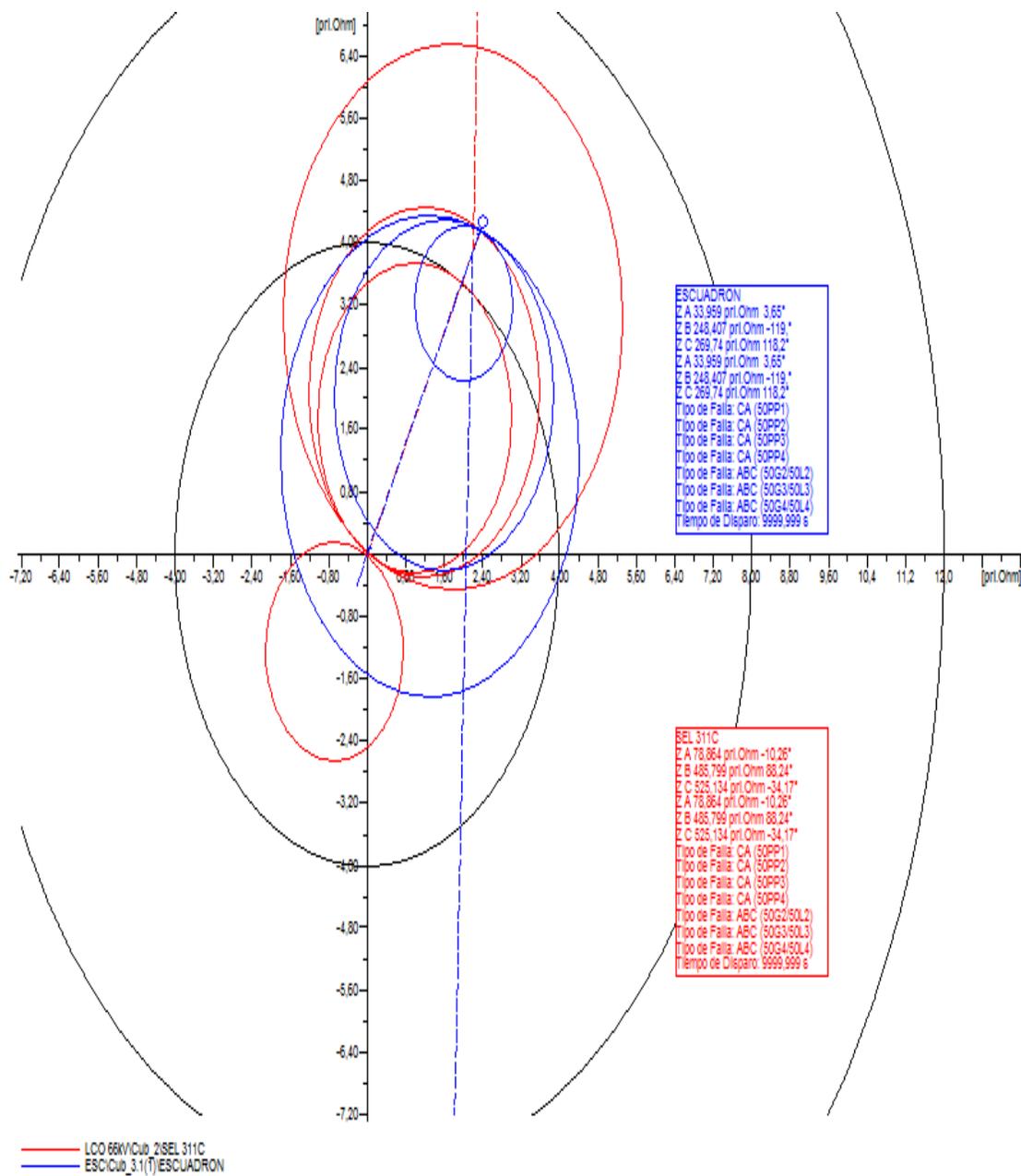


Figura B.10 Relé de distancia21/21N

Fallas bifásicas con impedancia de 25 Ω

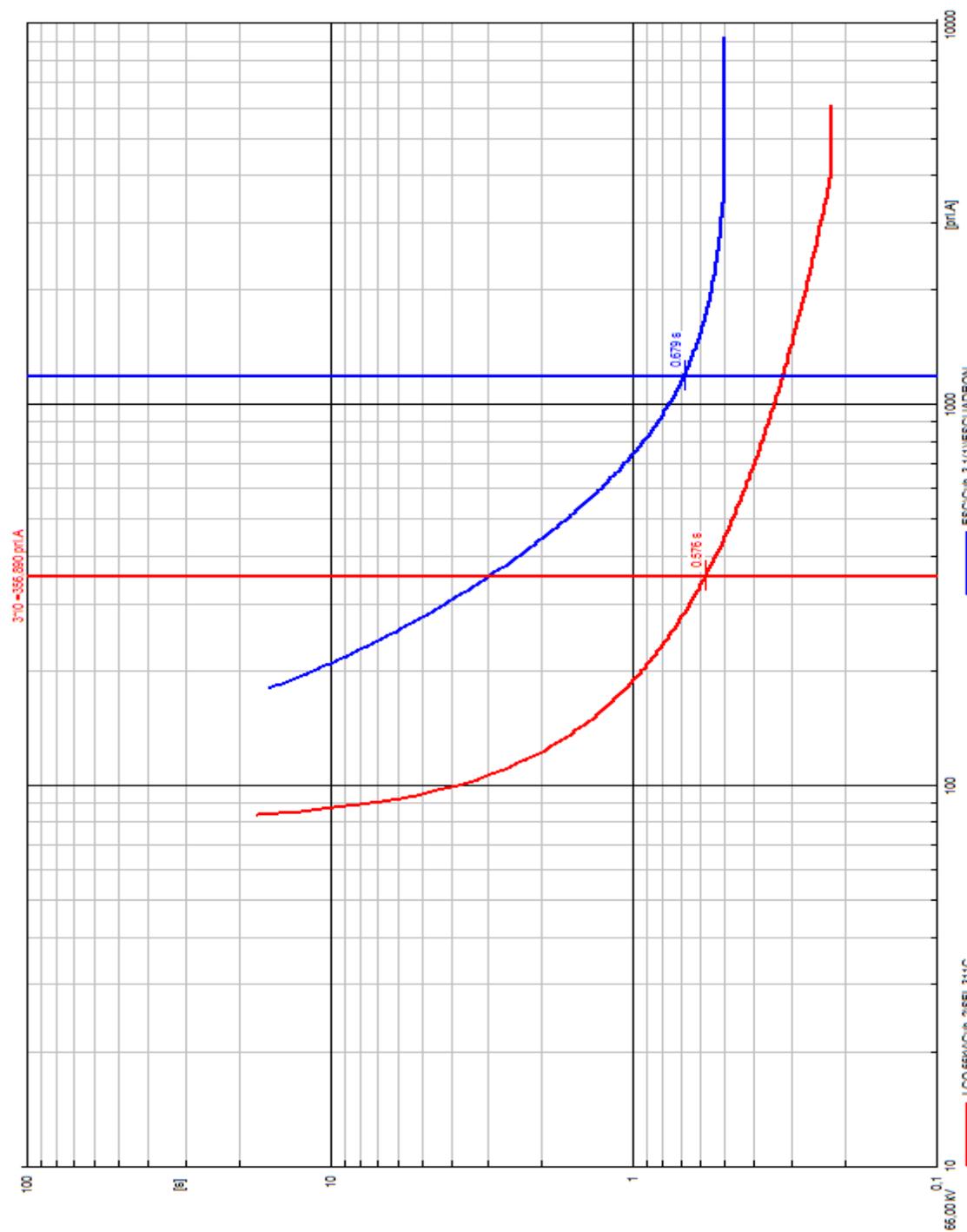


Figura B.11 Relé de sobrecorriente51/51N

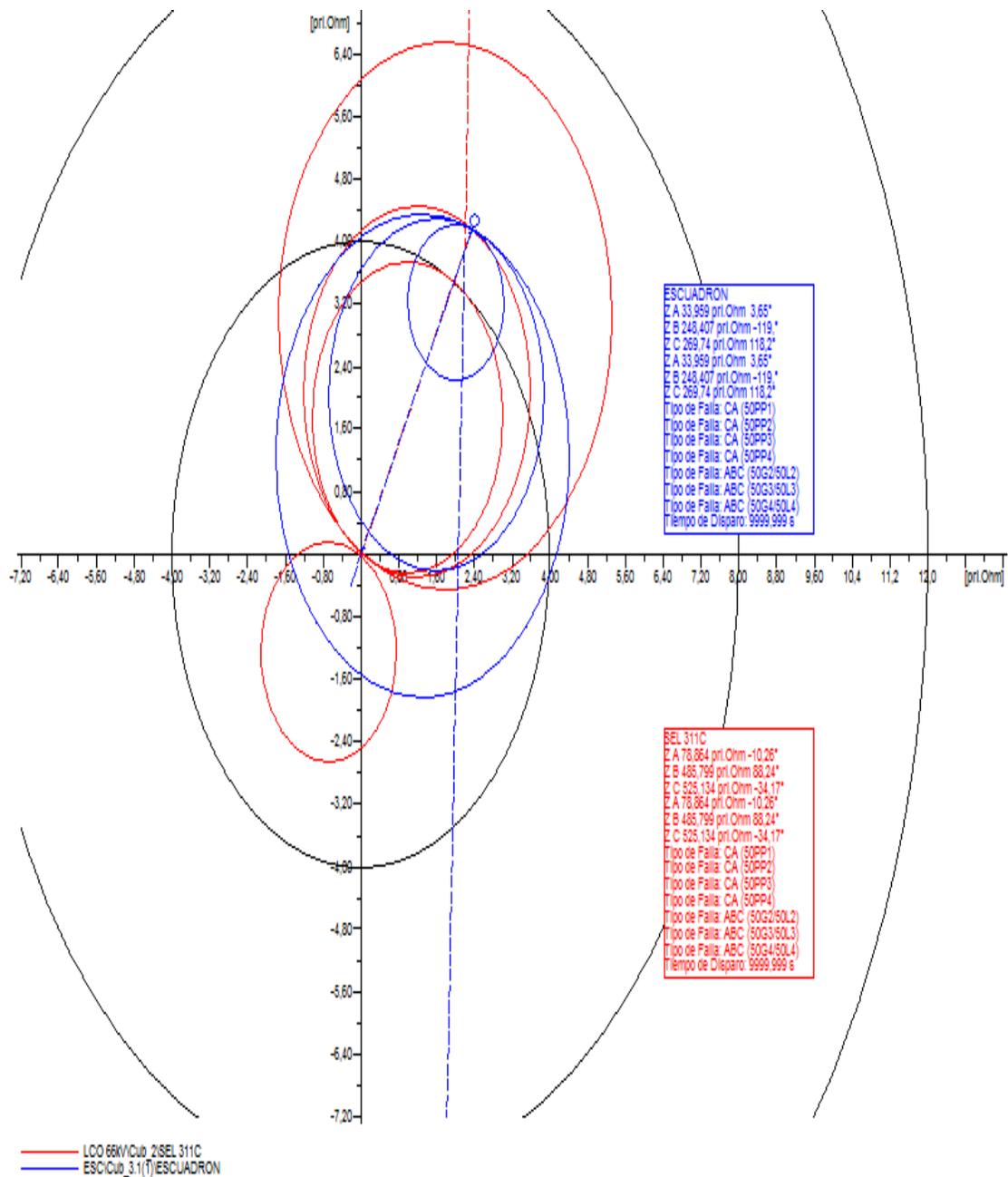


Figura B.12 Relé de distancia21/21N

### Falla al 80% del tramo Lomas Coloradas - EFE sin generación

Fallas trifásicas

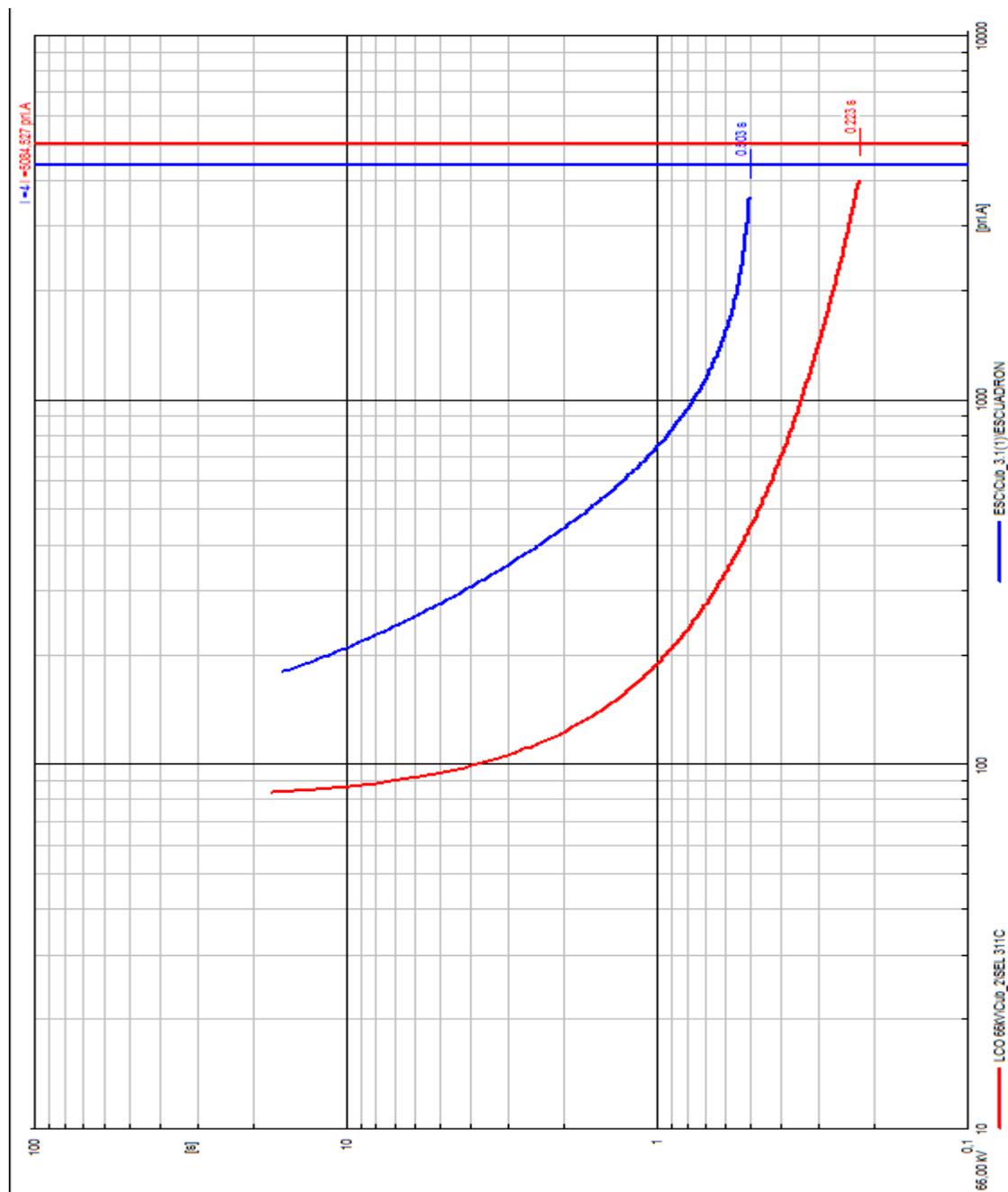


Figura B.13 Relé de sobrecorriente51/51N

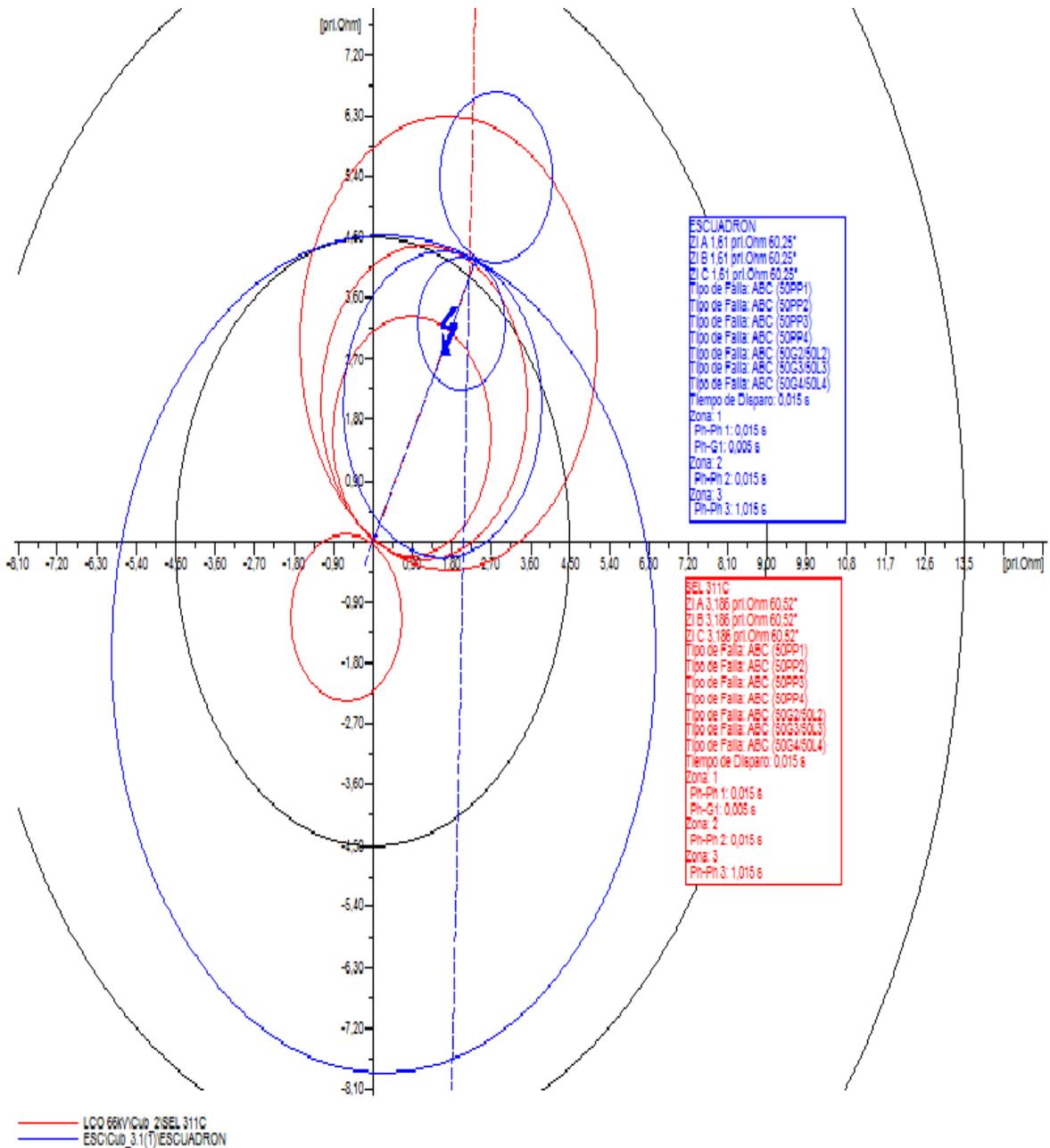


Figura B.14 Relé de distancia21/21N

Falla bifásica

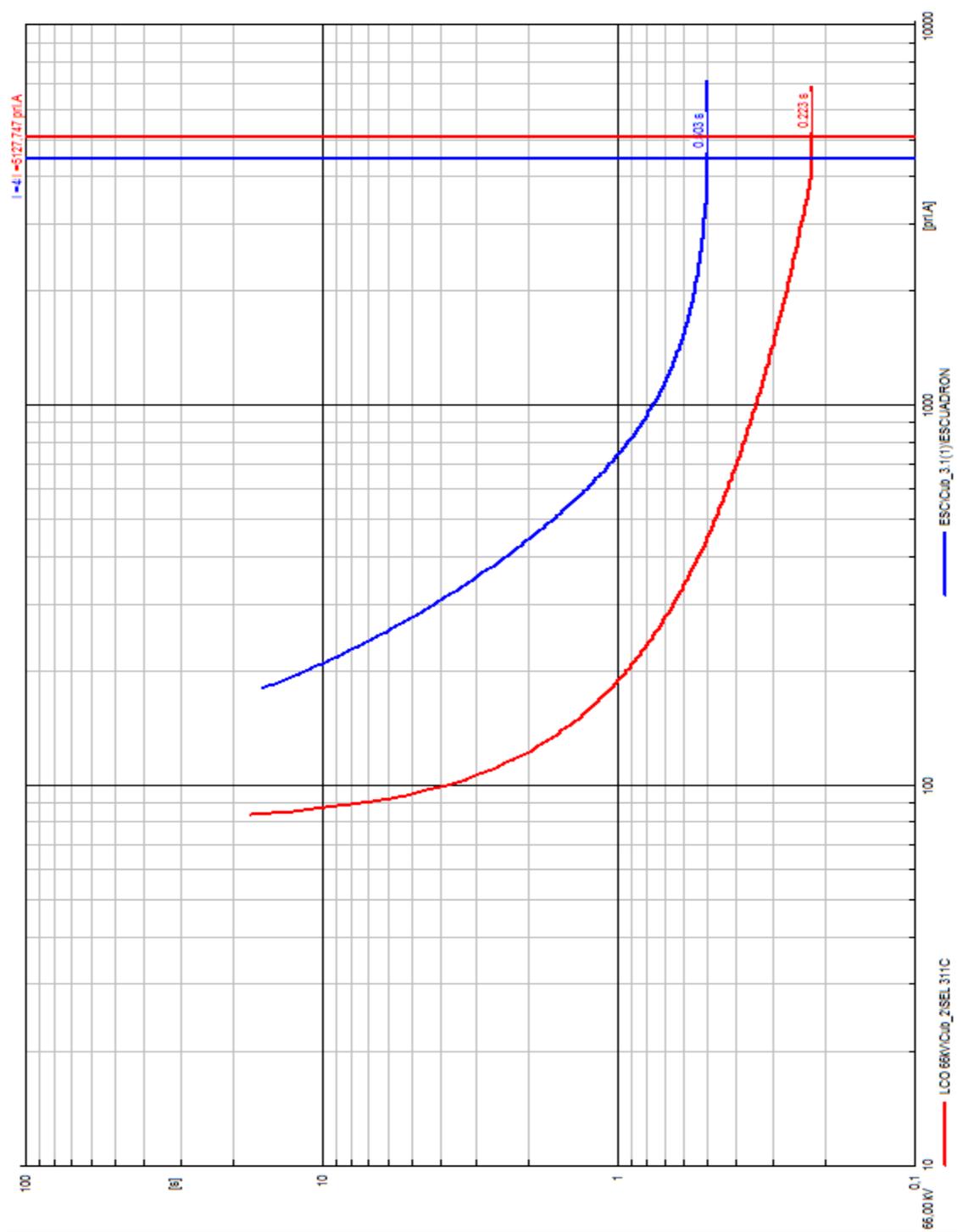


Figura B.15 Relé de sobrecorriente51/51N

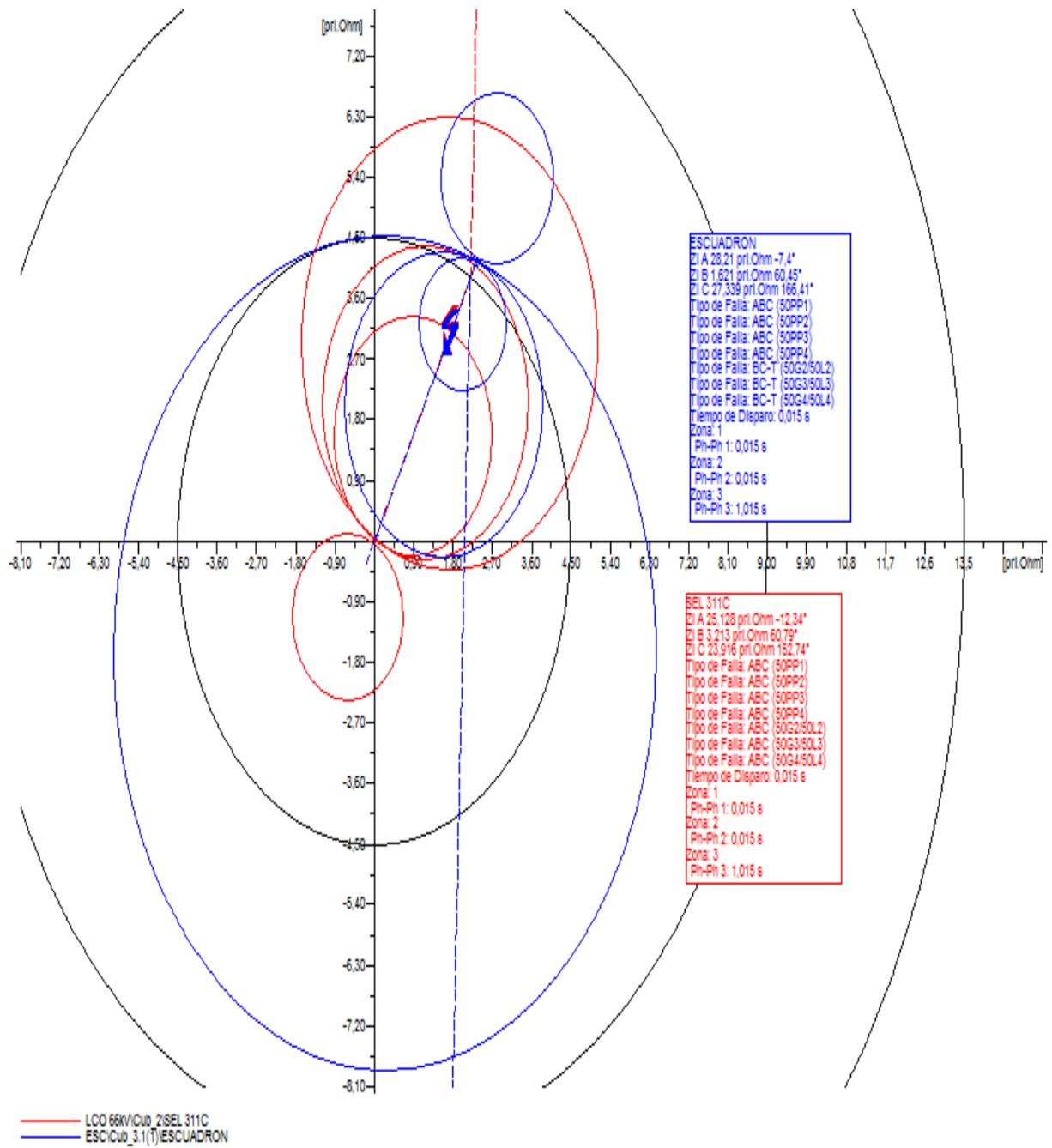


Figura B.16 Relé de distancia21/21N

Fallas monofásicas

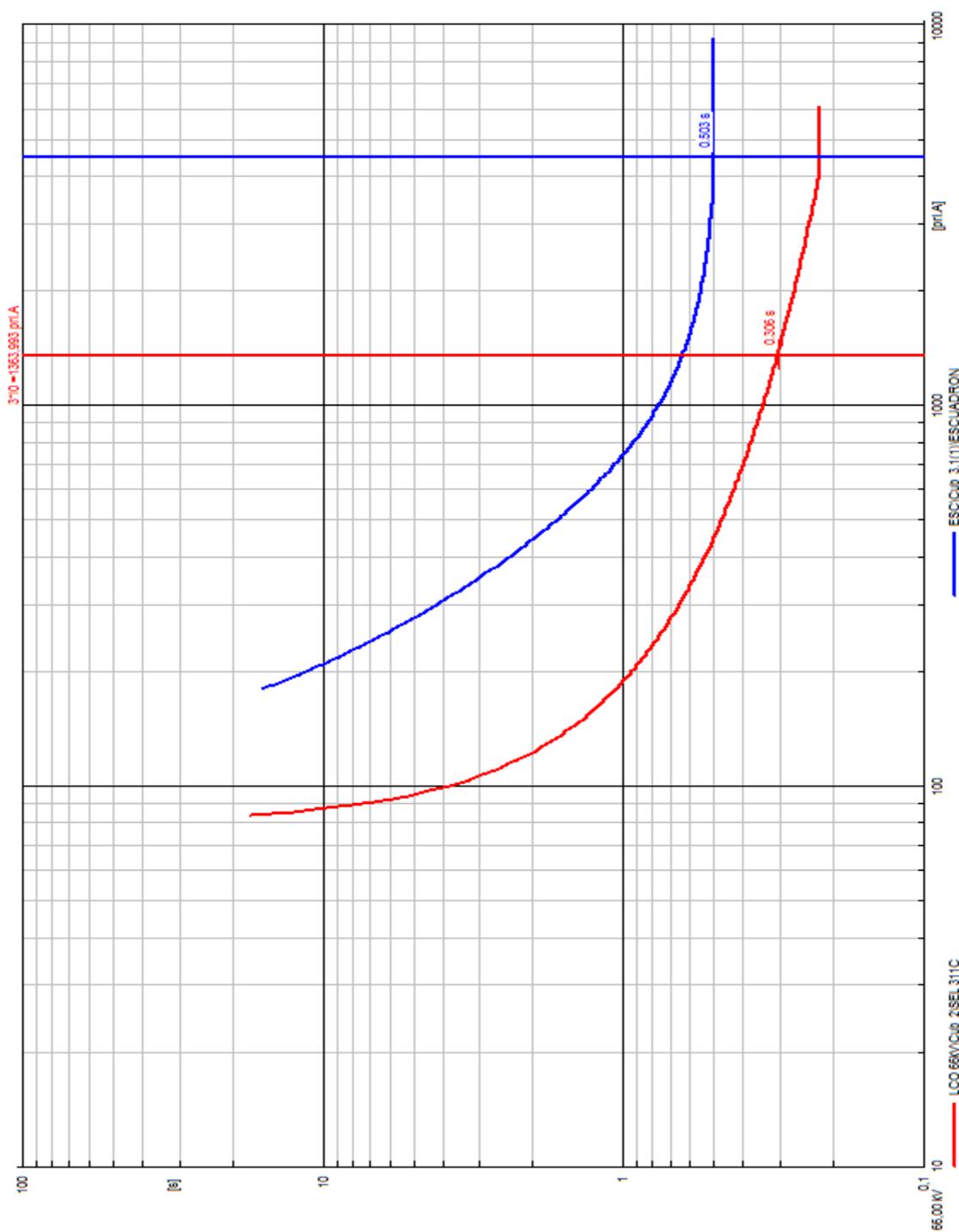


Figura B.17 Relé de sobrecorriente51/51N

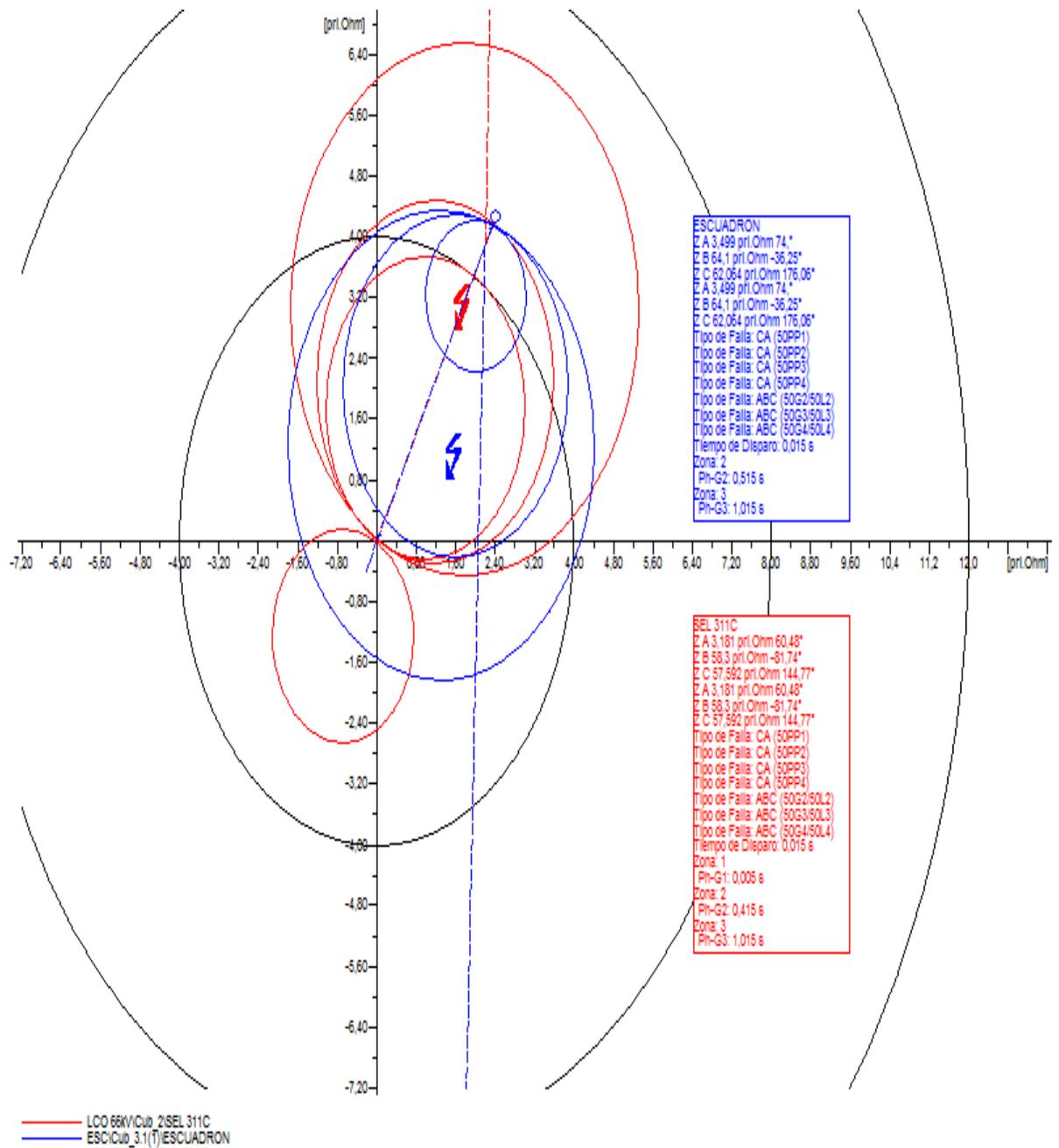


Figura B.18 Relé de distancia 21/21N

Fallas bifásicas a tierras

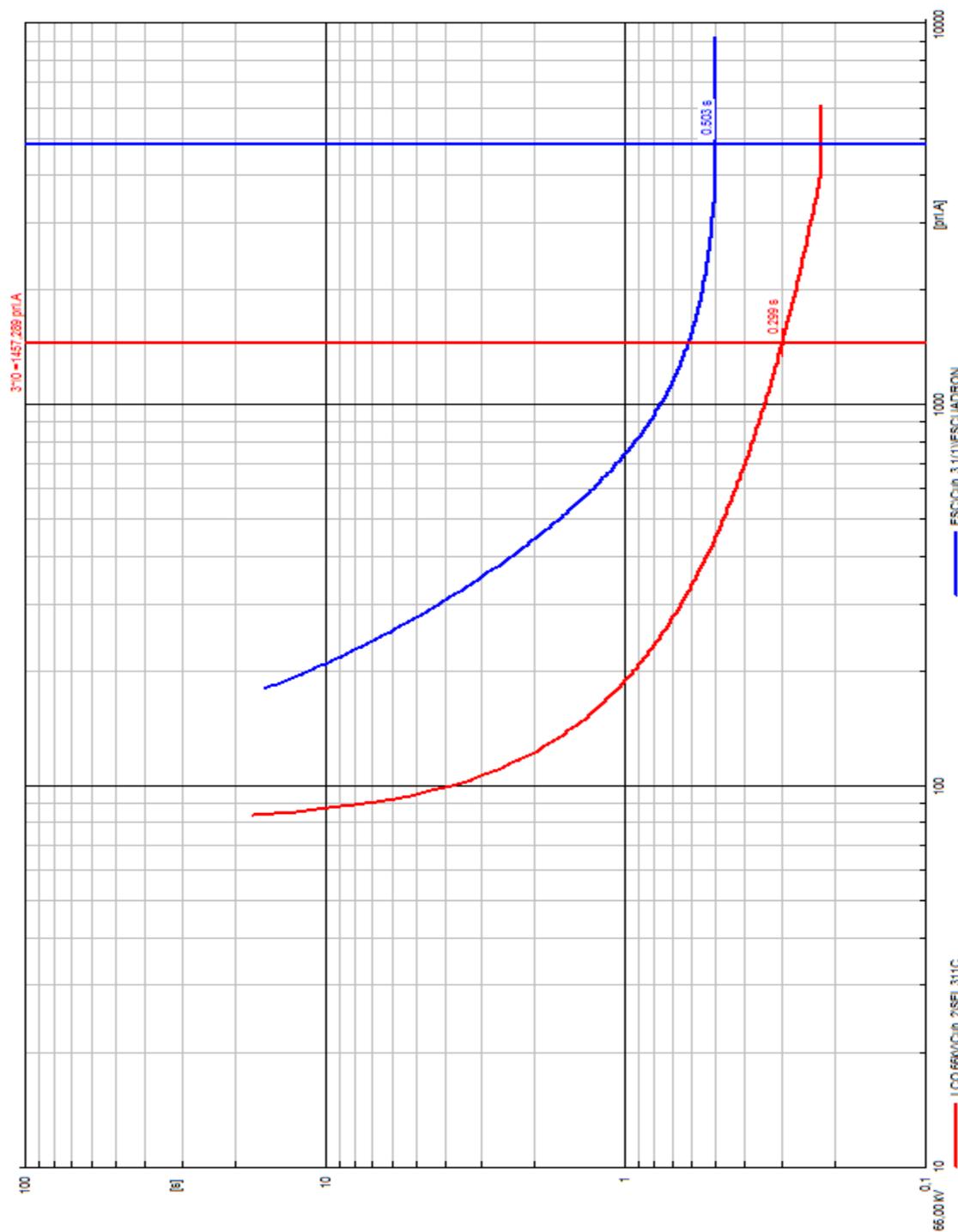


Figura B.19 Relé de sobrecorriente51/51N

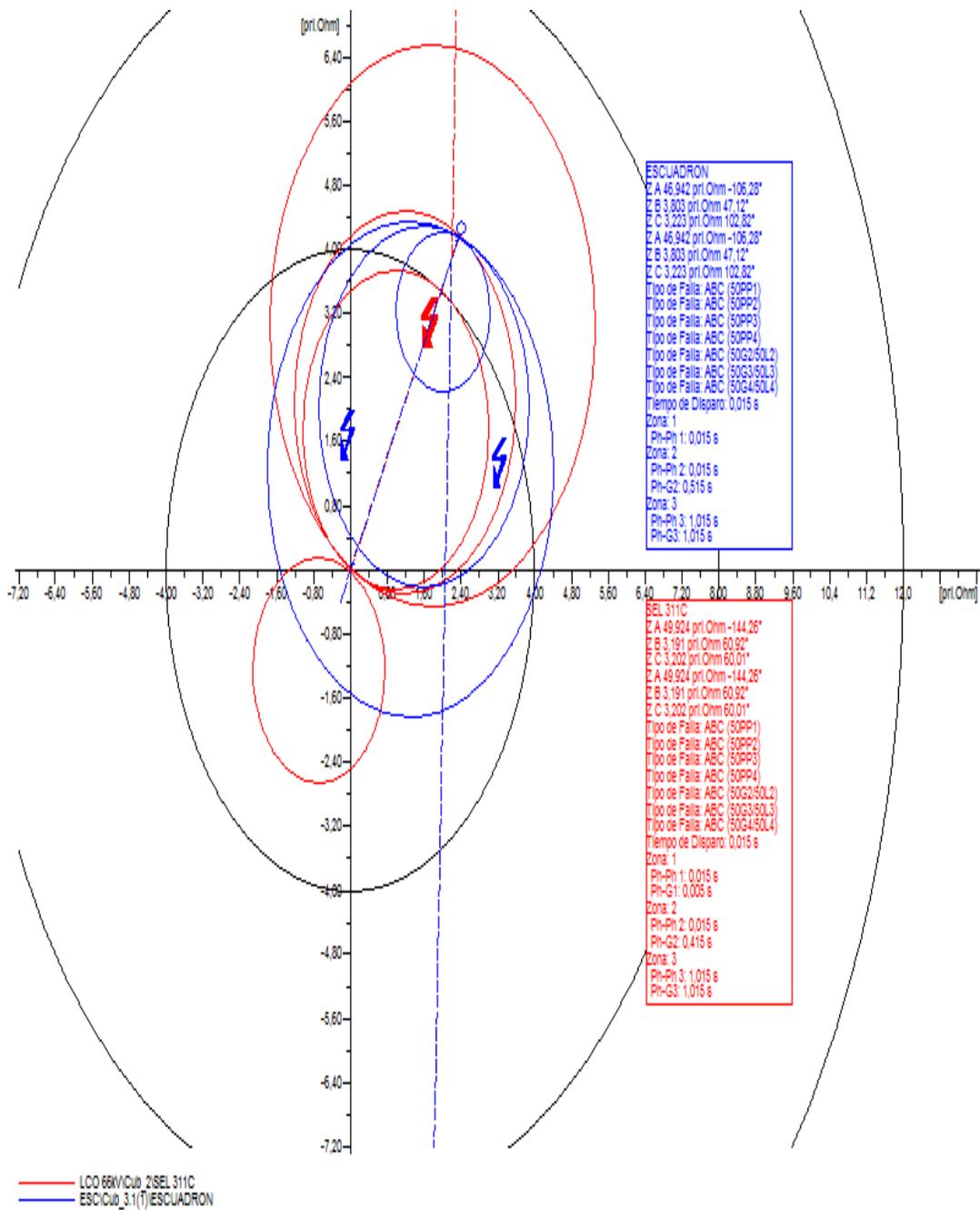


Figura B.20 Relé de distancia21/21N

Fallas monofásicas con impedancia de 25 Ω

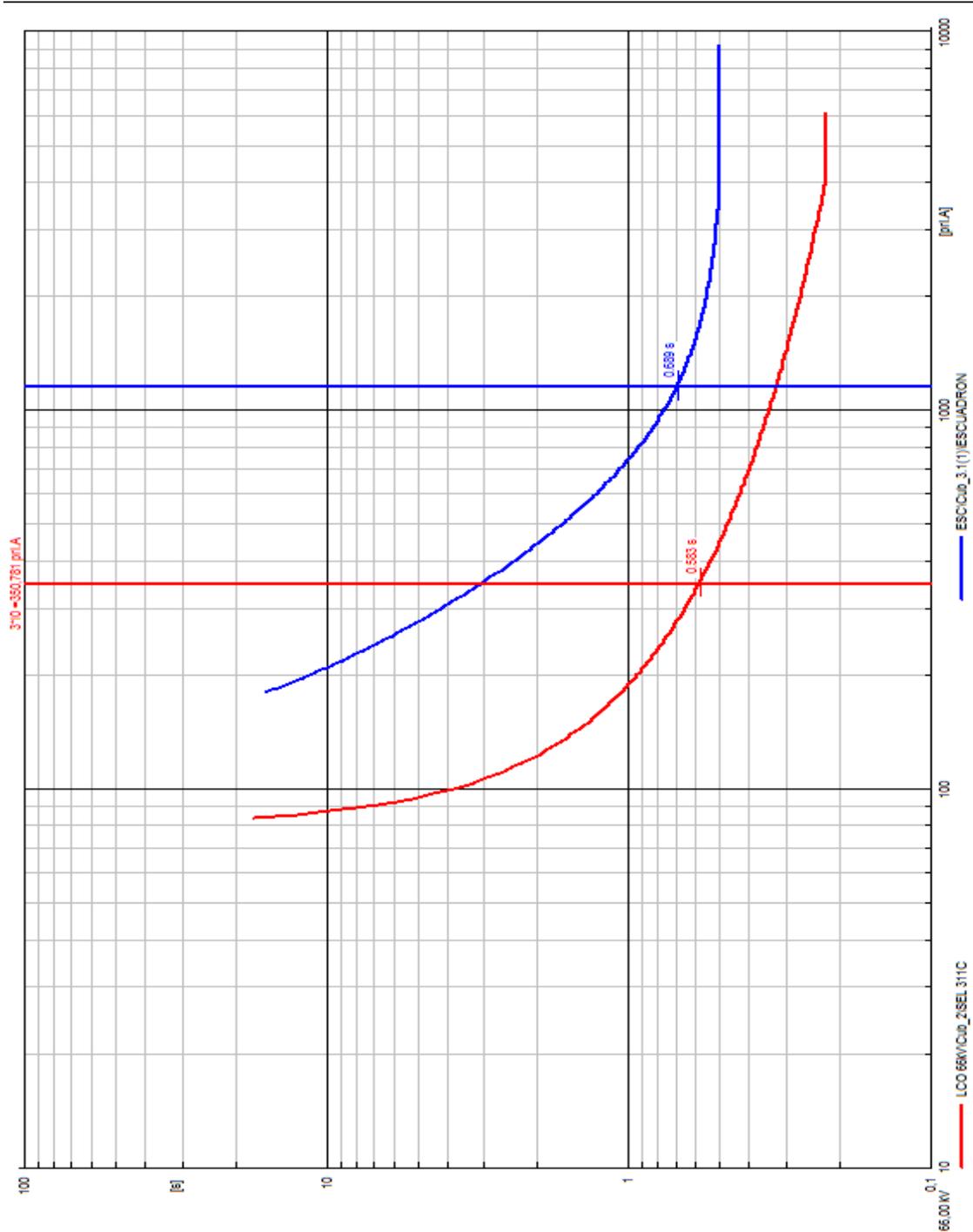


Figura B.21 Relé de sobrecorriente51/51N

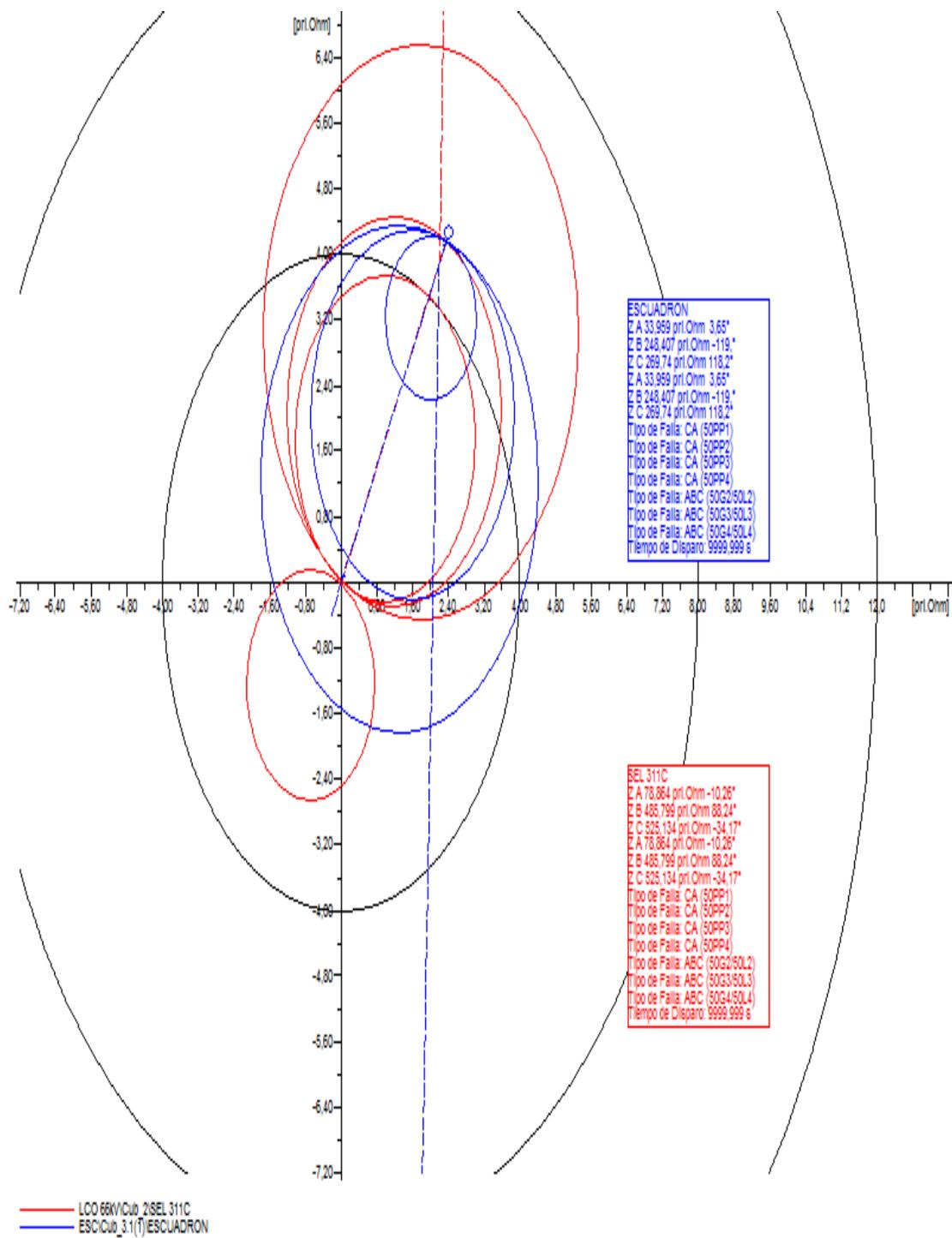


Figura B.22 Relé de distancia21/21N

Fallas bifásicas a tierra con impedancia de 25 Ω

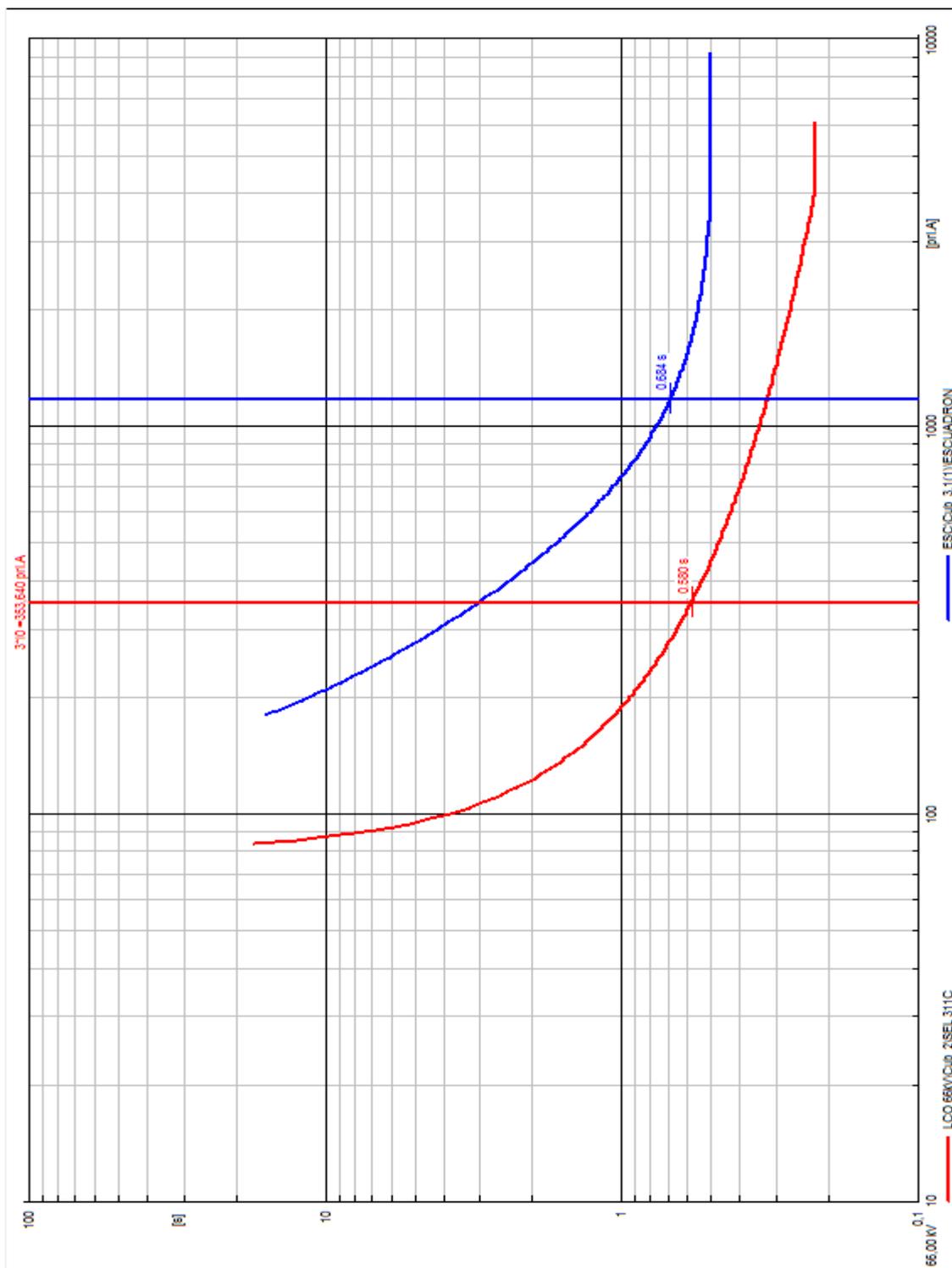


Figura B.23 Relé de sobrecorriente 51/51N

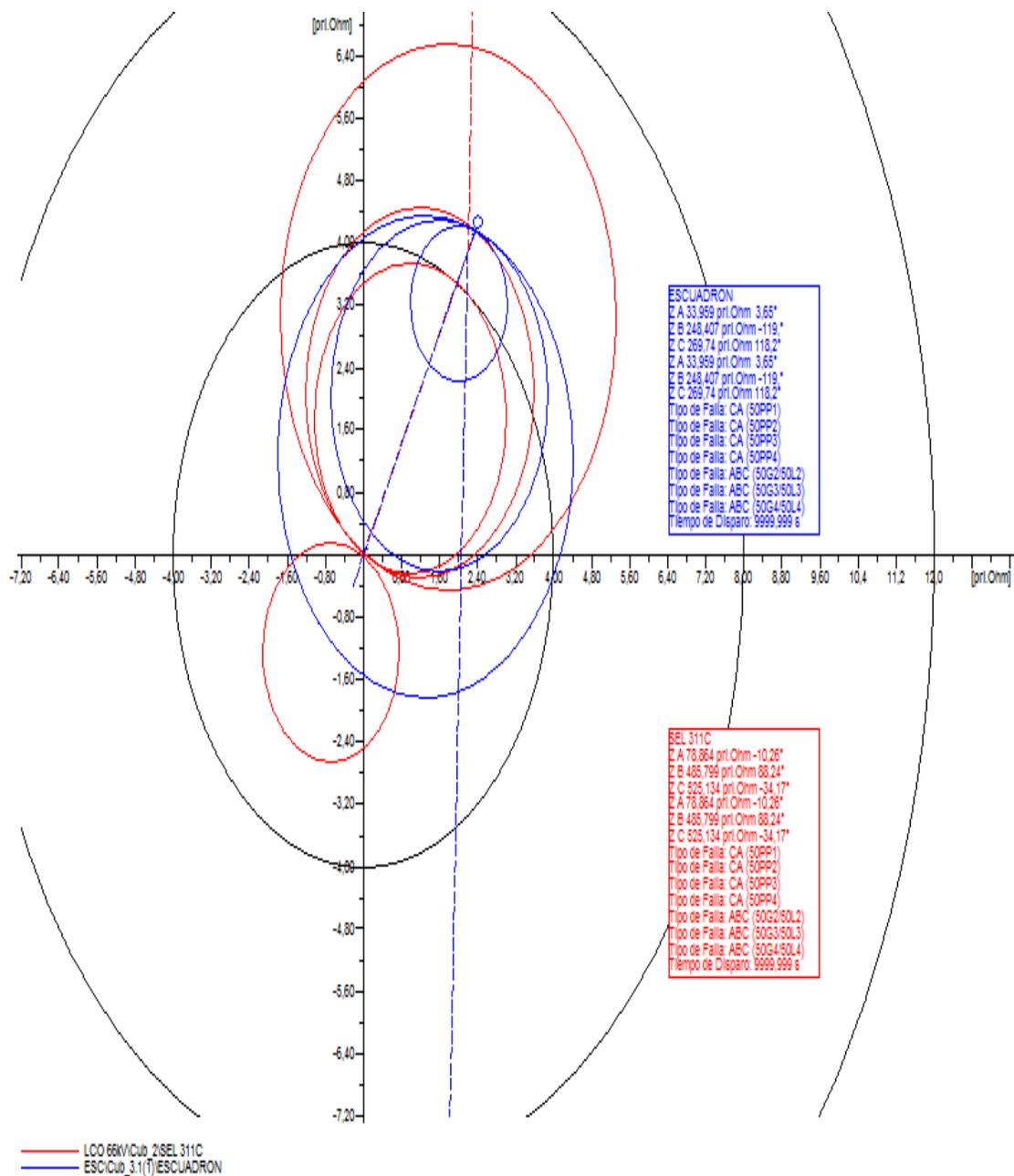


Figura B.24 Relé de distancia21/21N

### Falla al 80% del tramo EFE - Escuadrón con generación

Fallas trifásicas

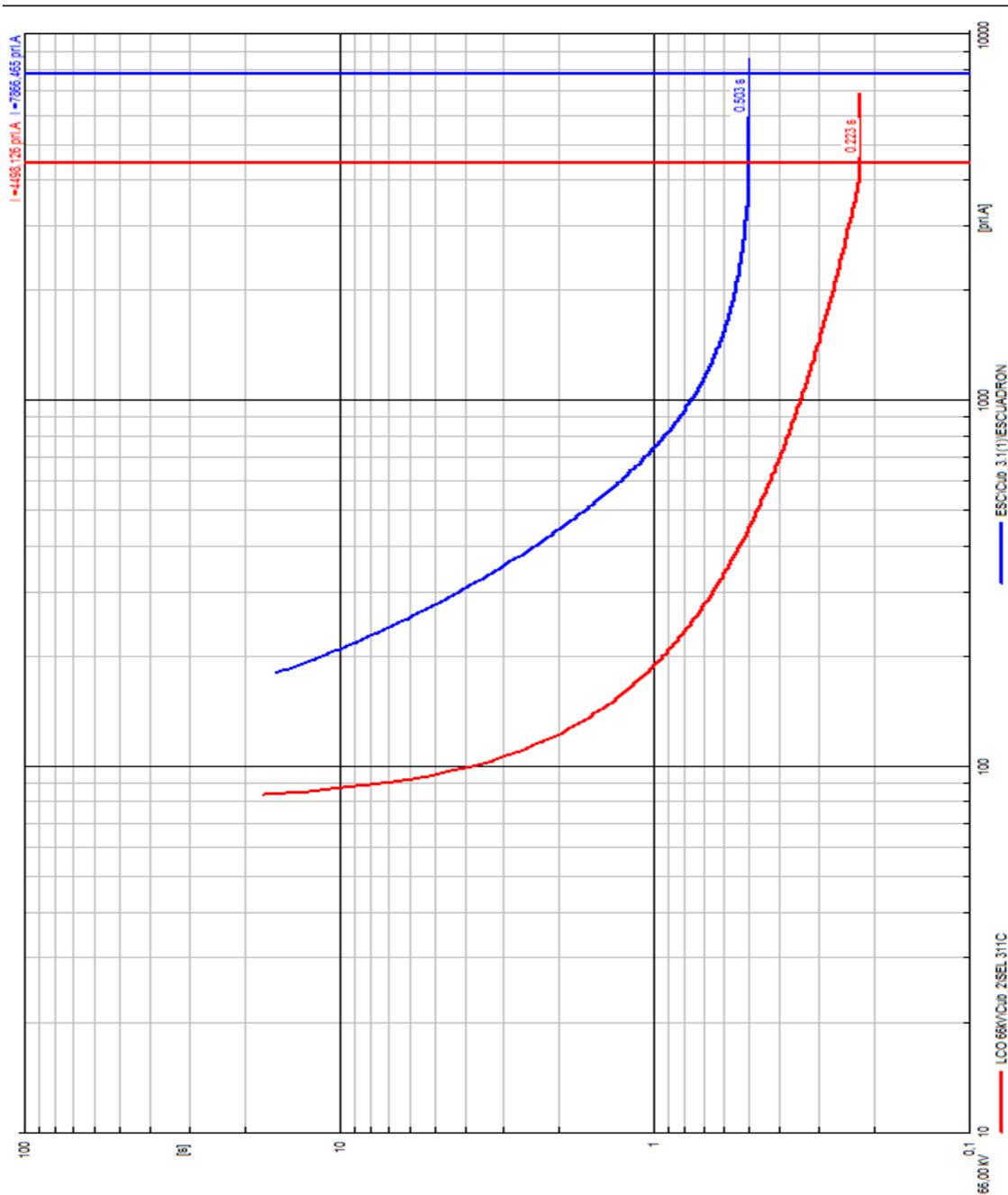


Figura B.25 Relé de sobrecorriente 51/51N

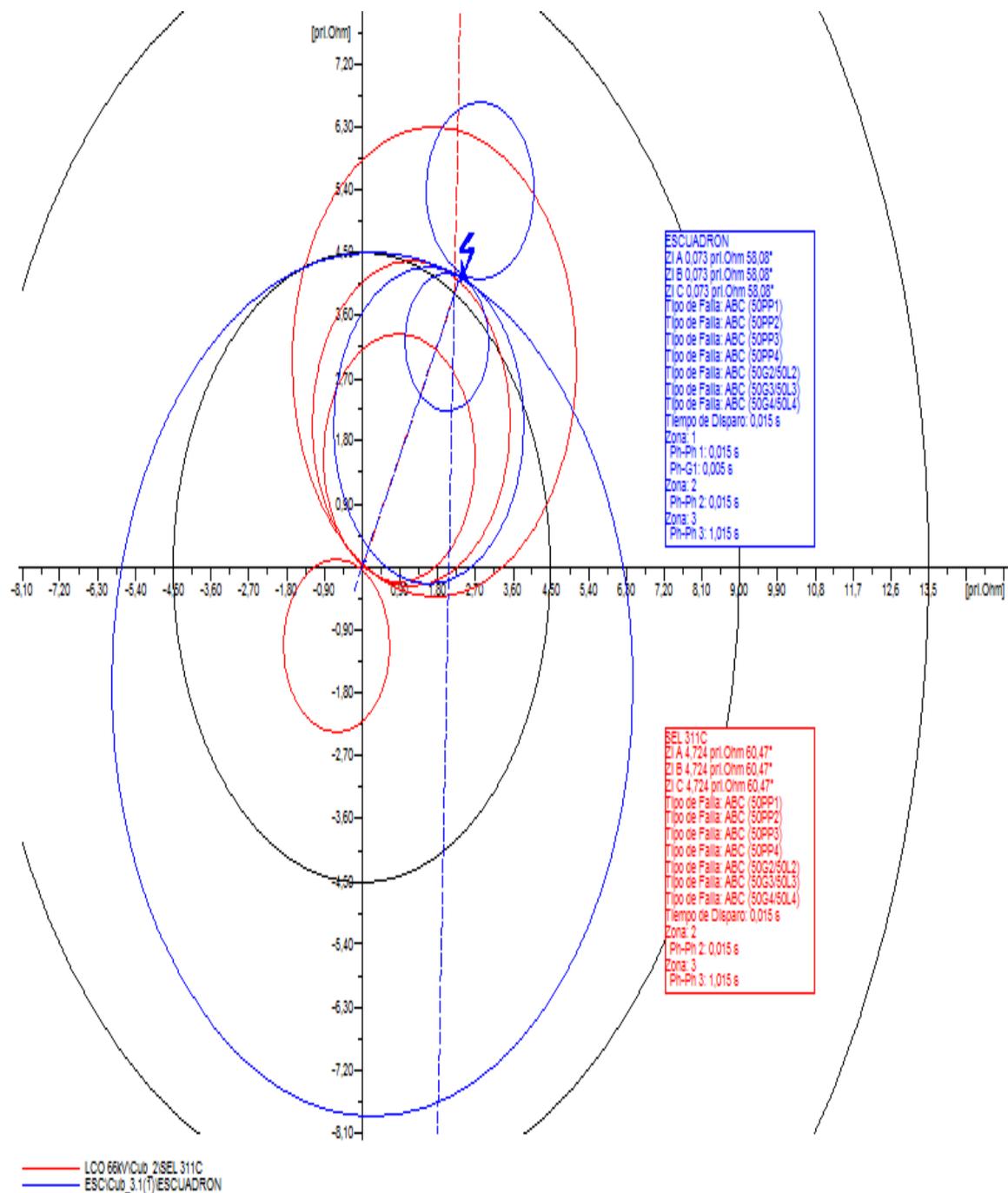


Figura B.26 Relé de distancia21/21N

Fallas bifásicas

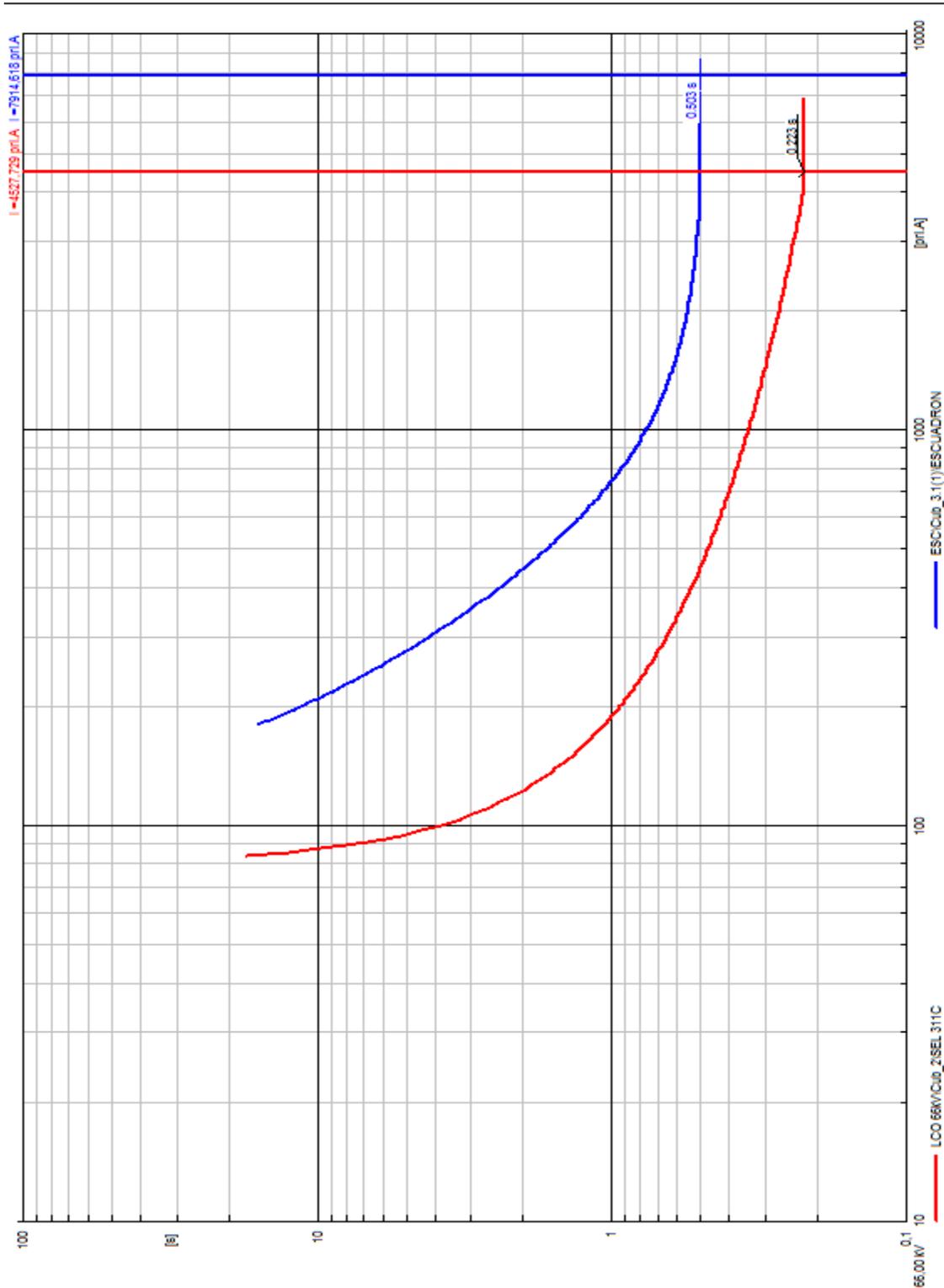


Figura B.27 Relé de sobrecorriente51/51N

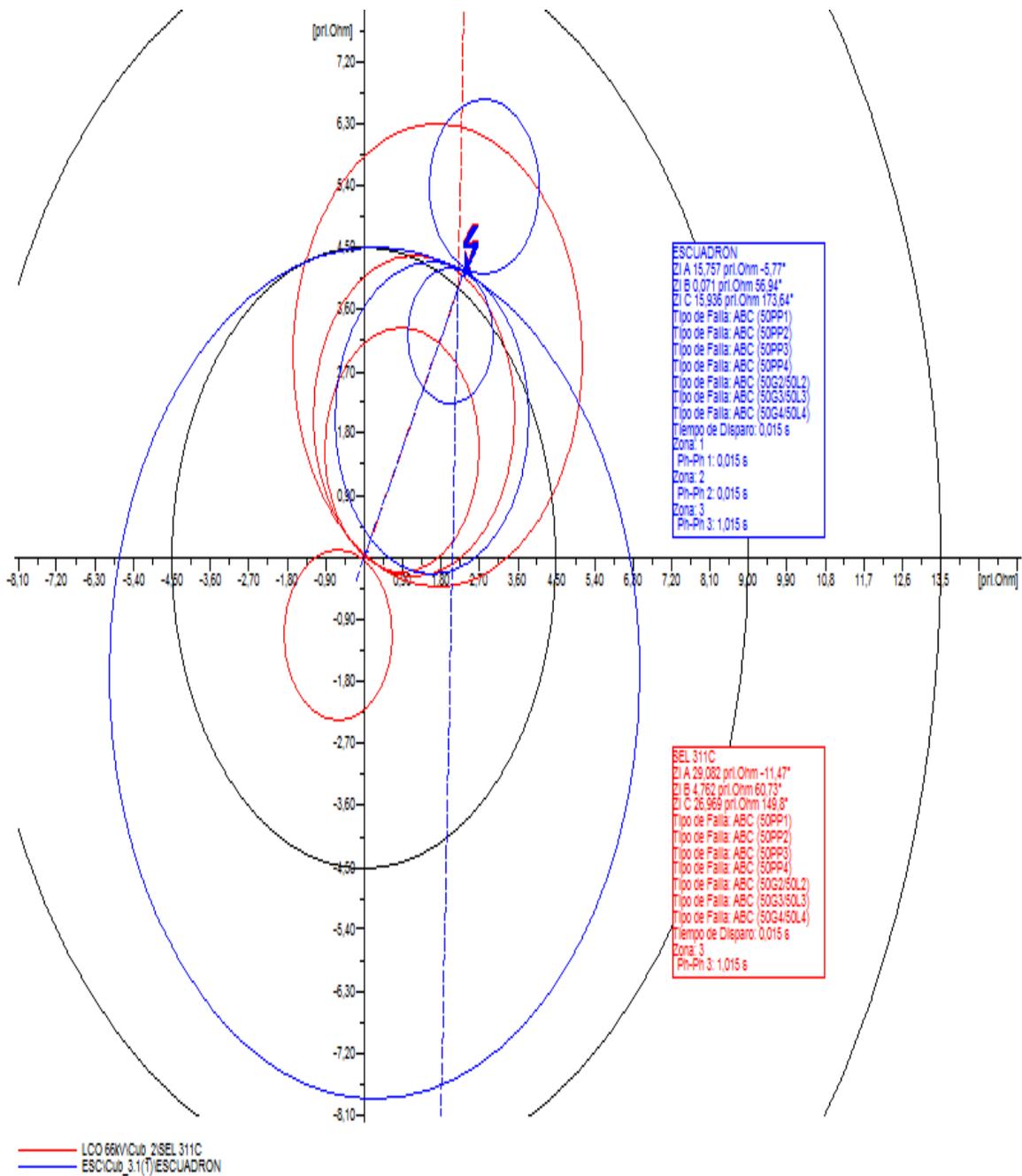


Figura B.28 Relé de distancia21/21N

Fallas monofásicas

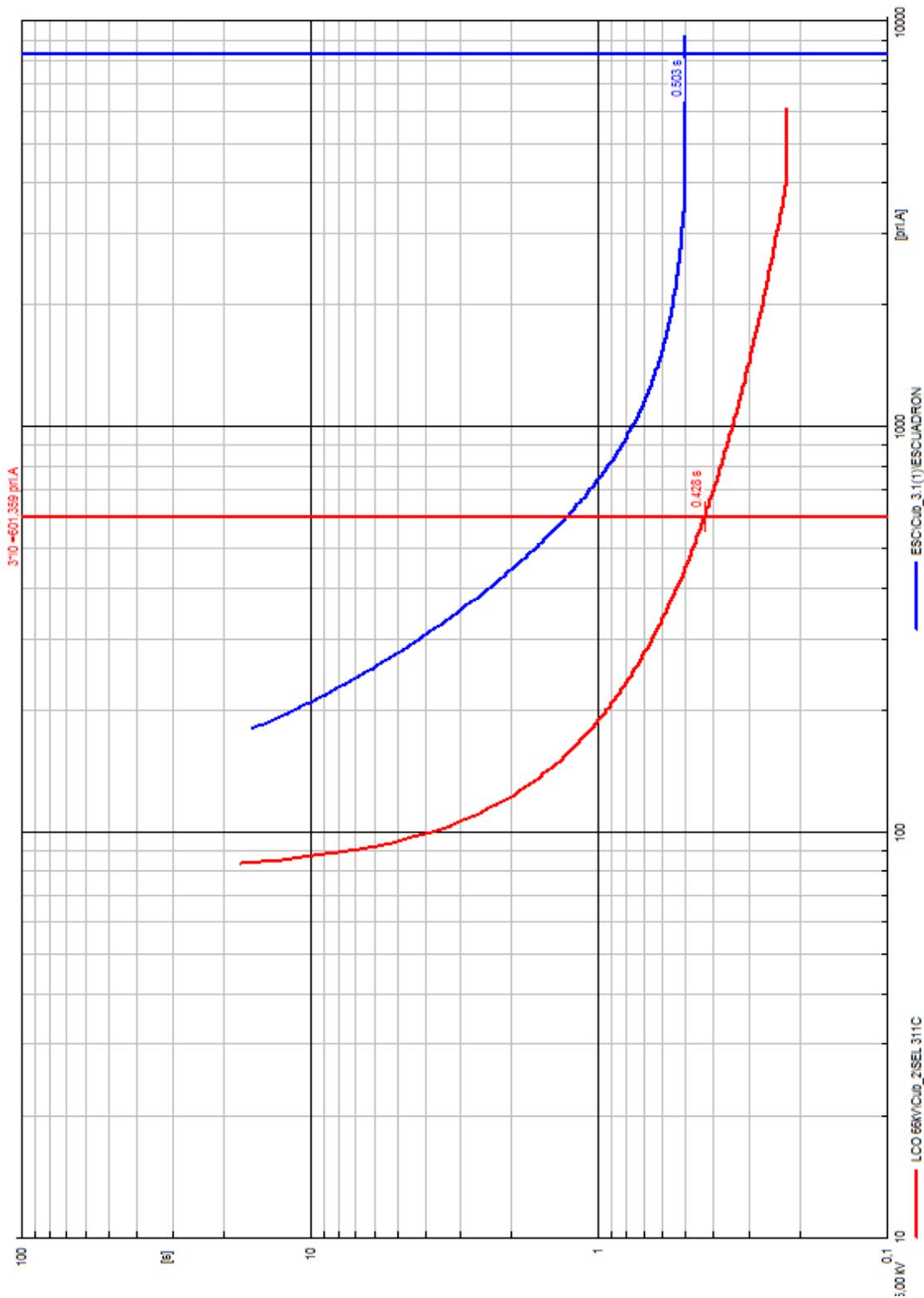


Figura B.29 Relé de sobrecorriente 51/51N

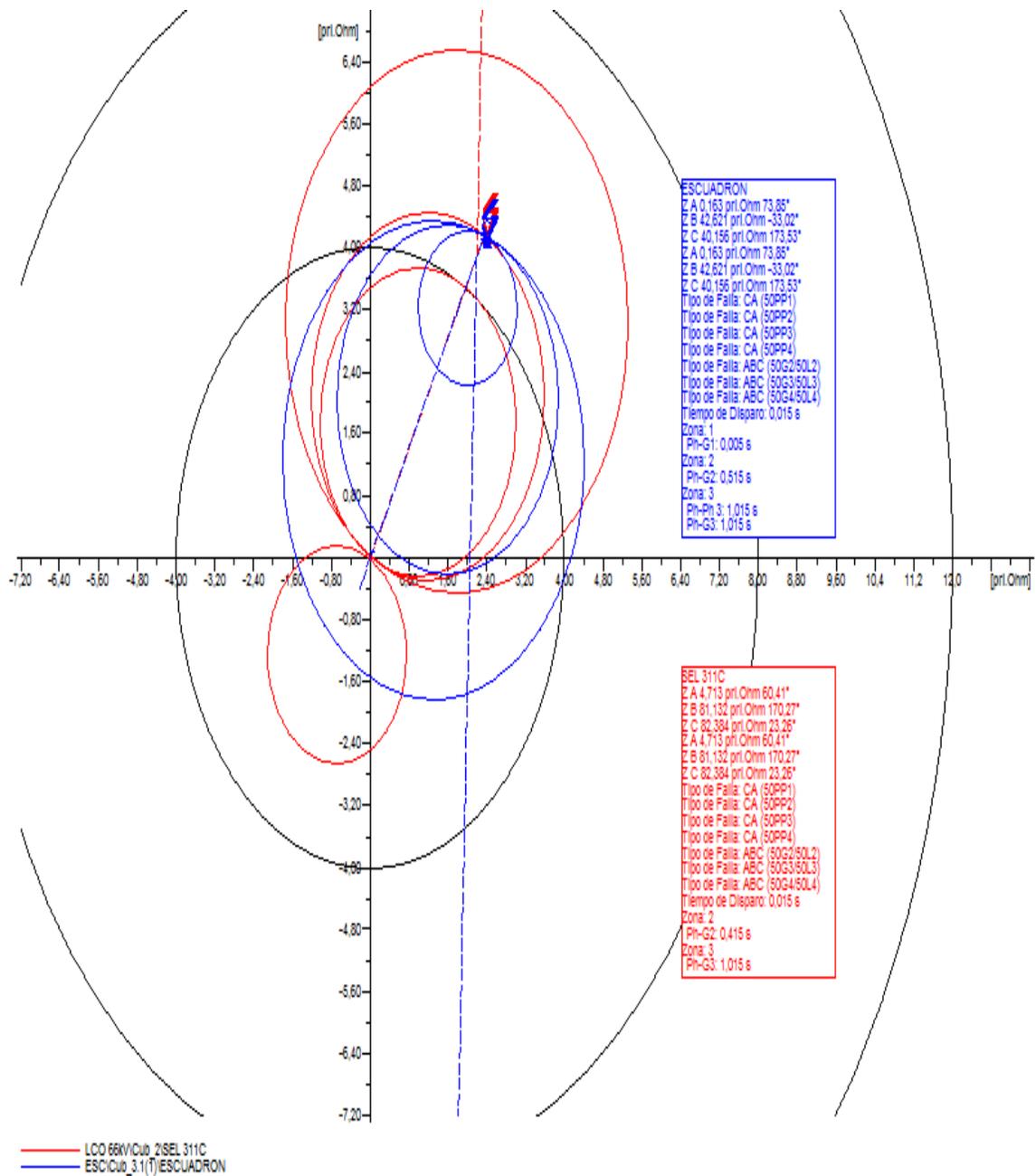


Figura B.30 Relé de distancia21/21N

Fallas bifásicas a tierra

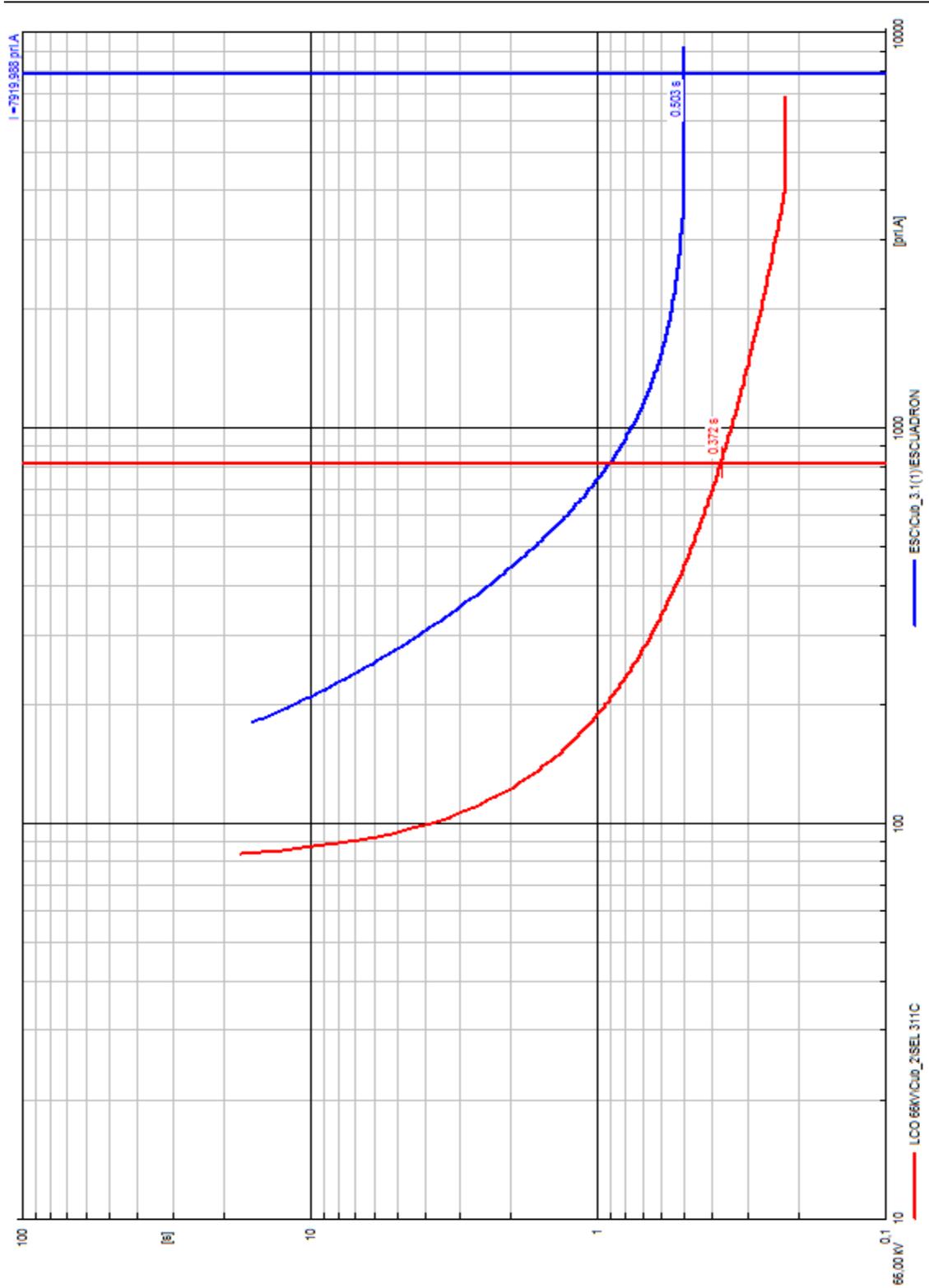


Figura B.31 Relé de sobrecorriente51/51N

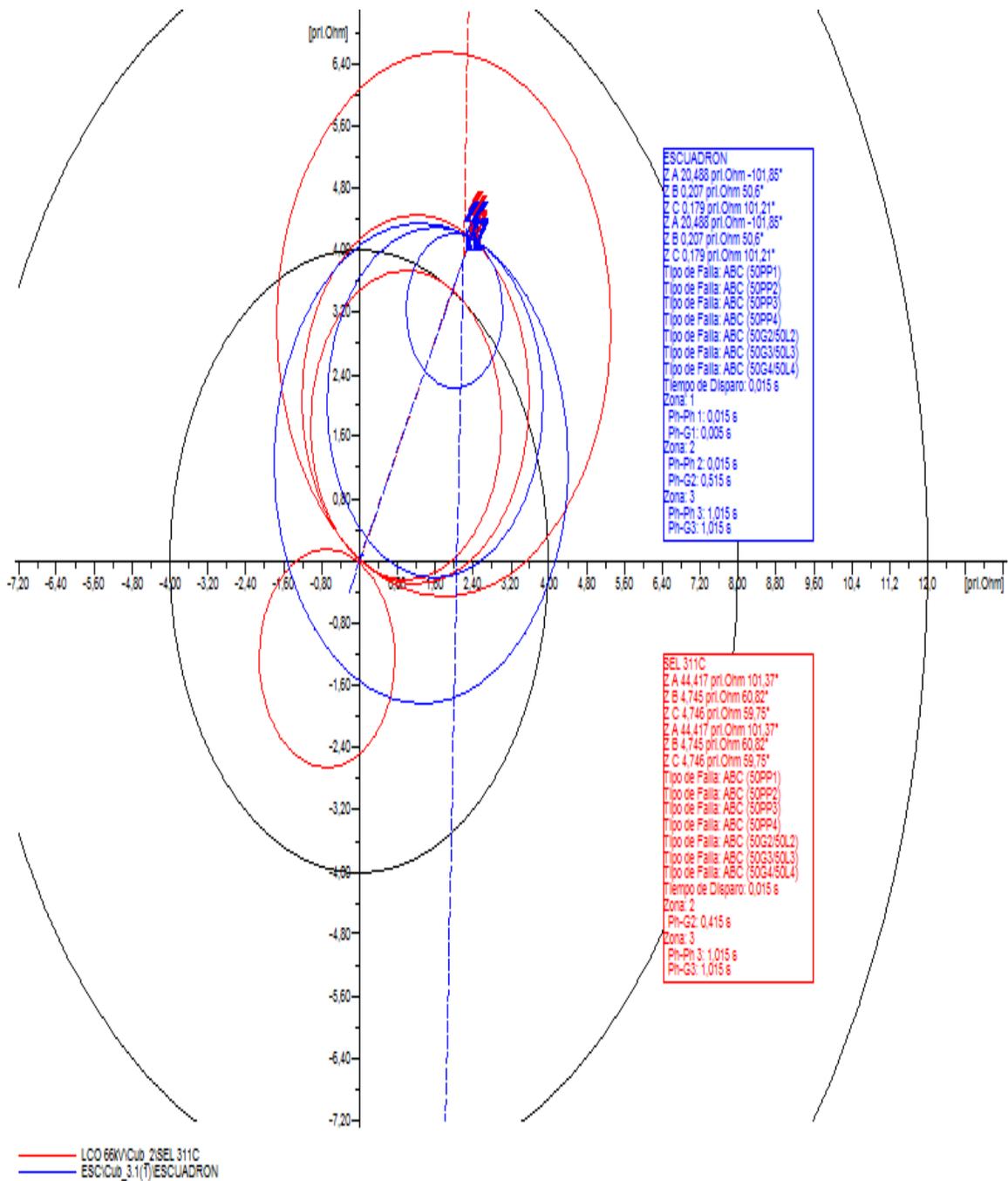


Figura B.32 Relé de distancia21/21N

Fallas monofásicas con impedancia de 25 Ω

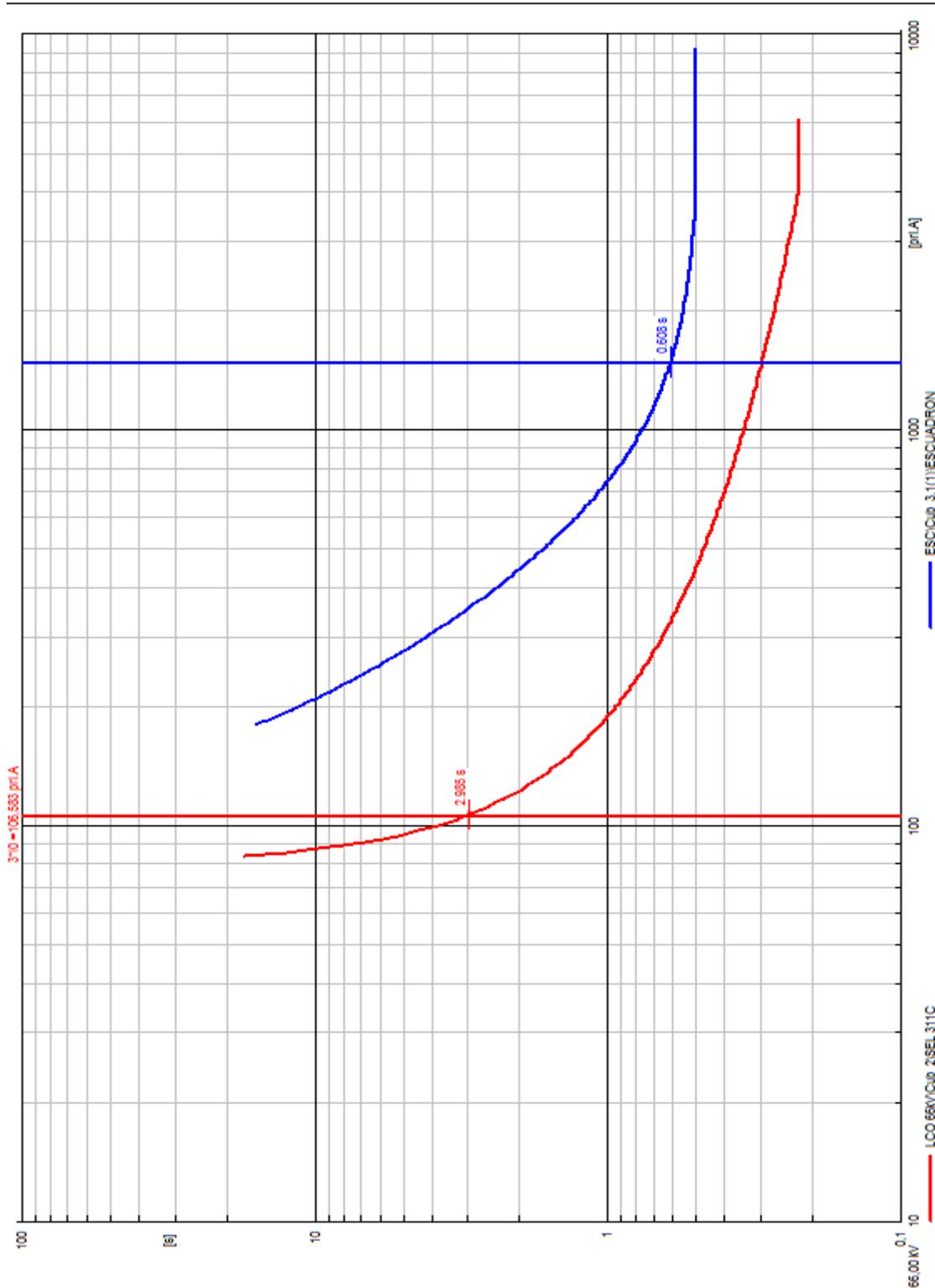


Figura B.33 Relé de sobrecorriente51/51N

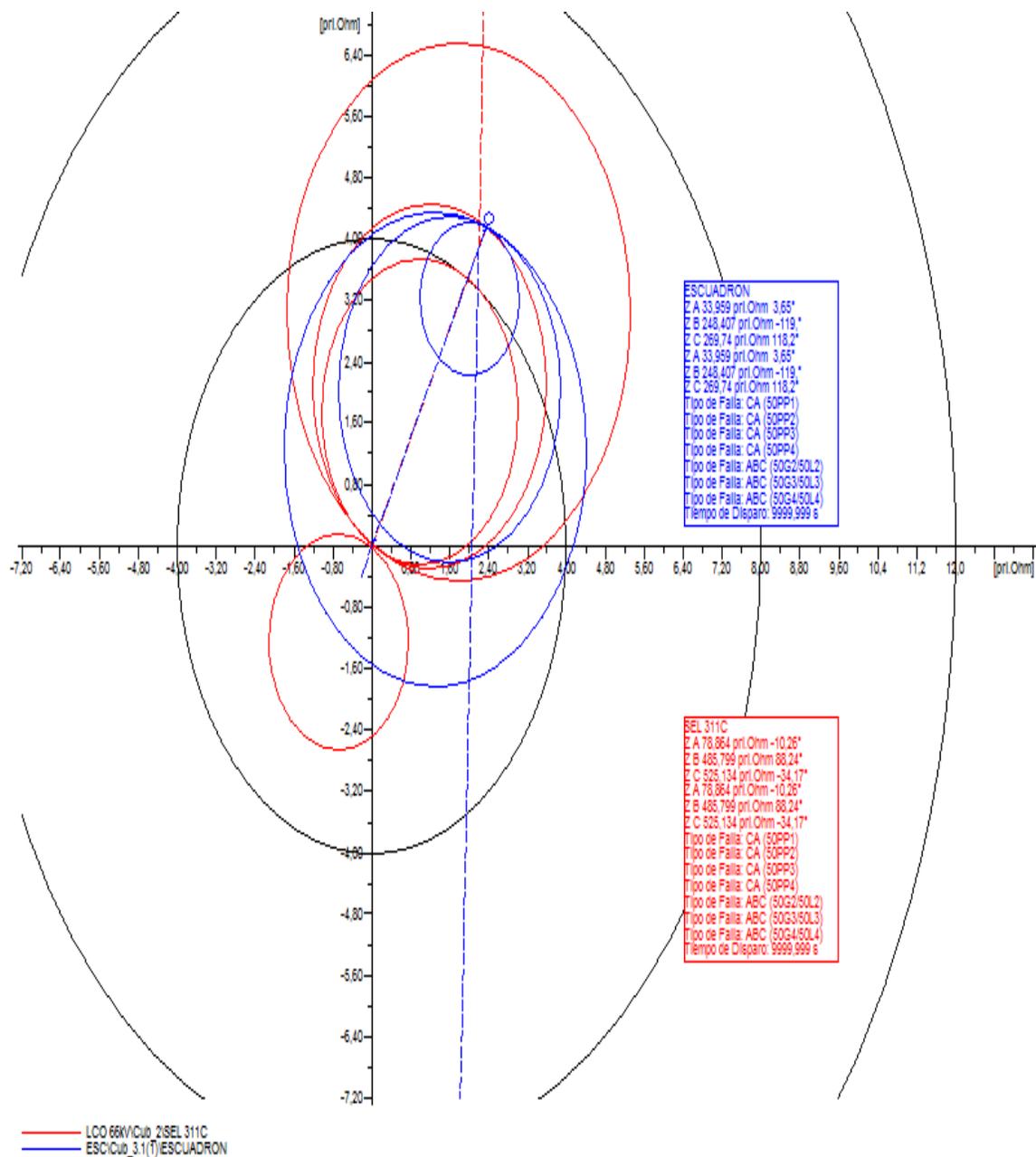


Figura B.34 Relé de distancia21/21N

Fallas bifásicas a tierra con impedancia de 25 Ω

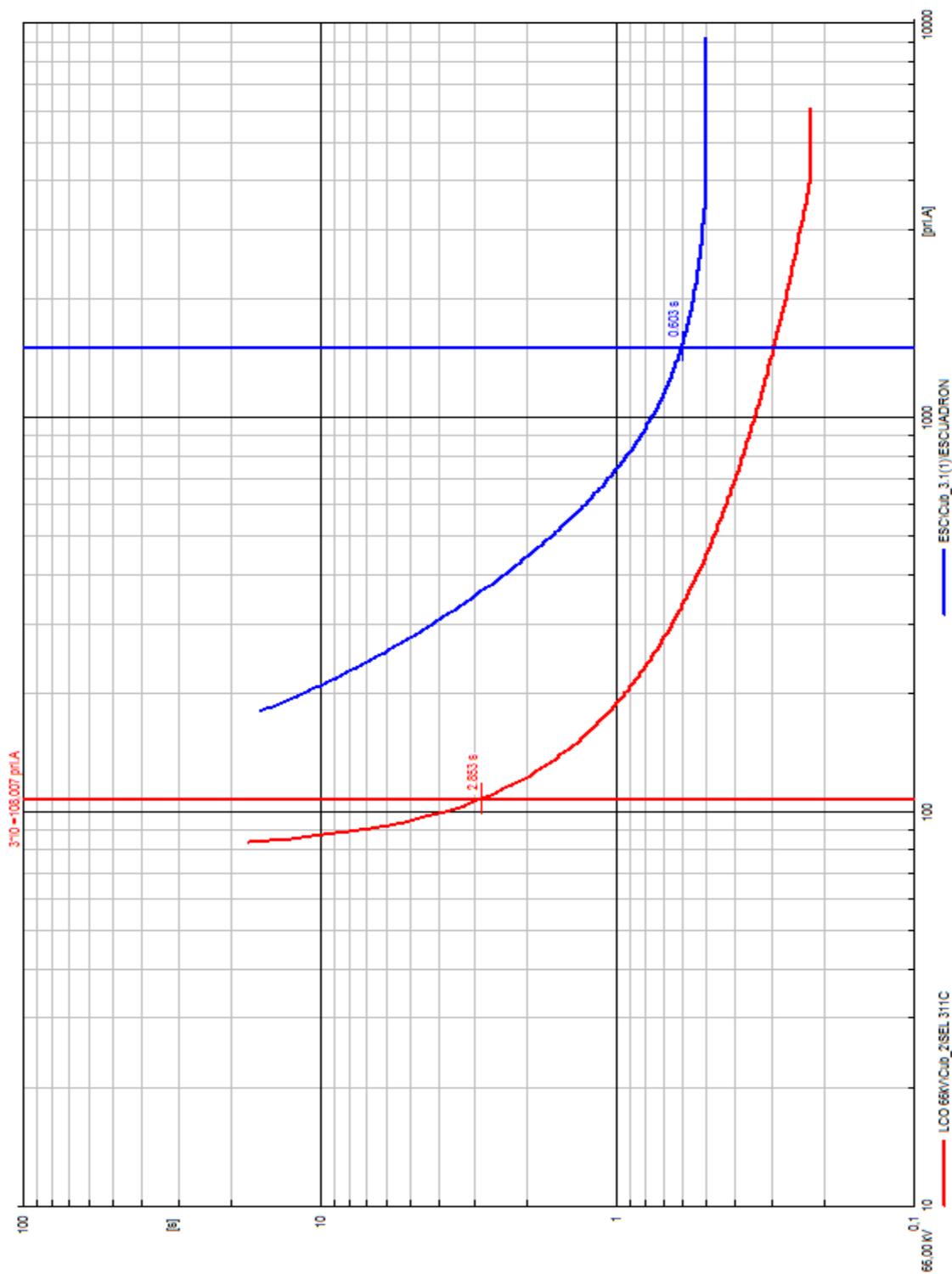


Figura B.35 Relé de sobrecorriente 51/51N

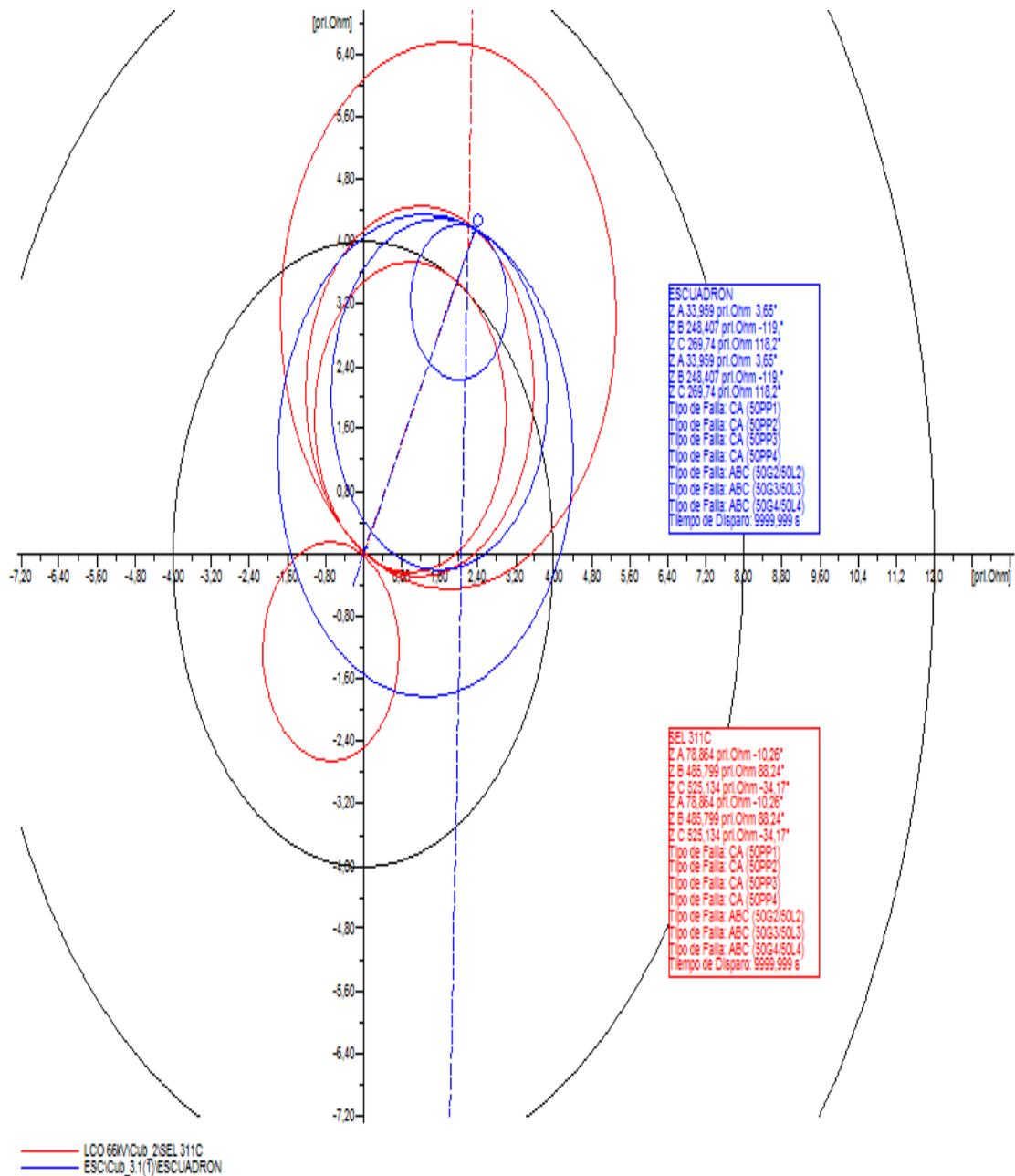


Figura B.36 Relé de distancia21/21N

### Falla al 80% del tramo EFE - Escuadrón sin generación

Falla trifásica

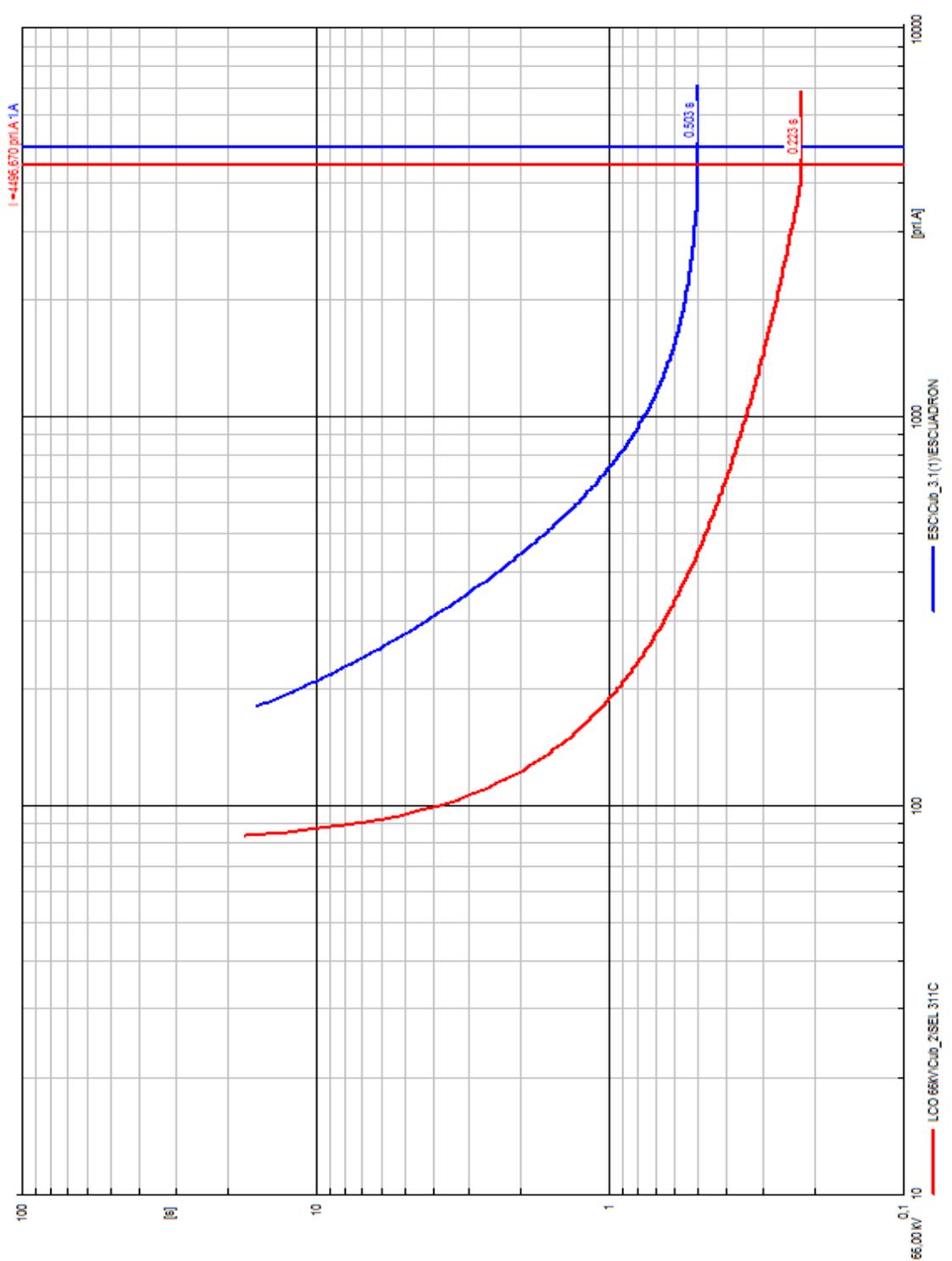


Figura B.37 Relé de sobrecorriente 51/51N

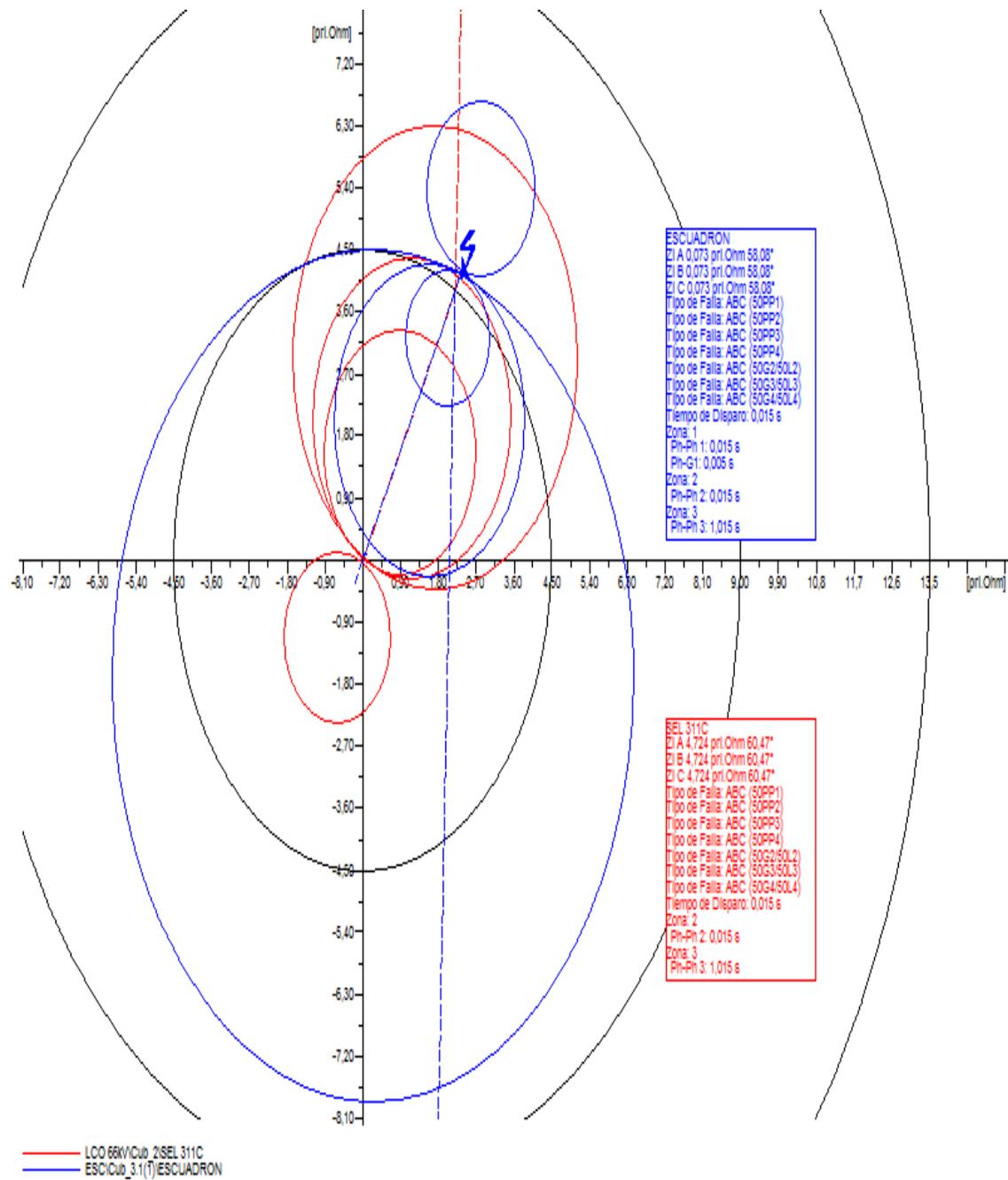


Figura B.38 Relé de distancia21/21N

Fallas bifásicas

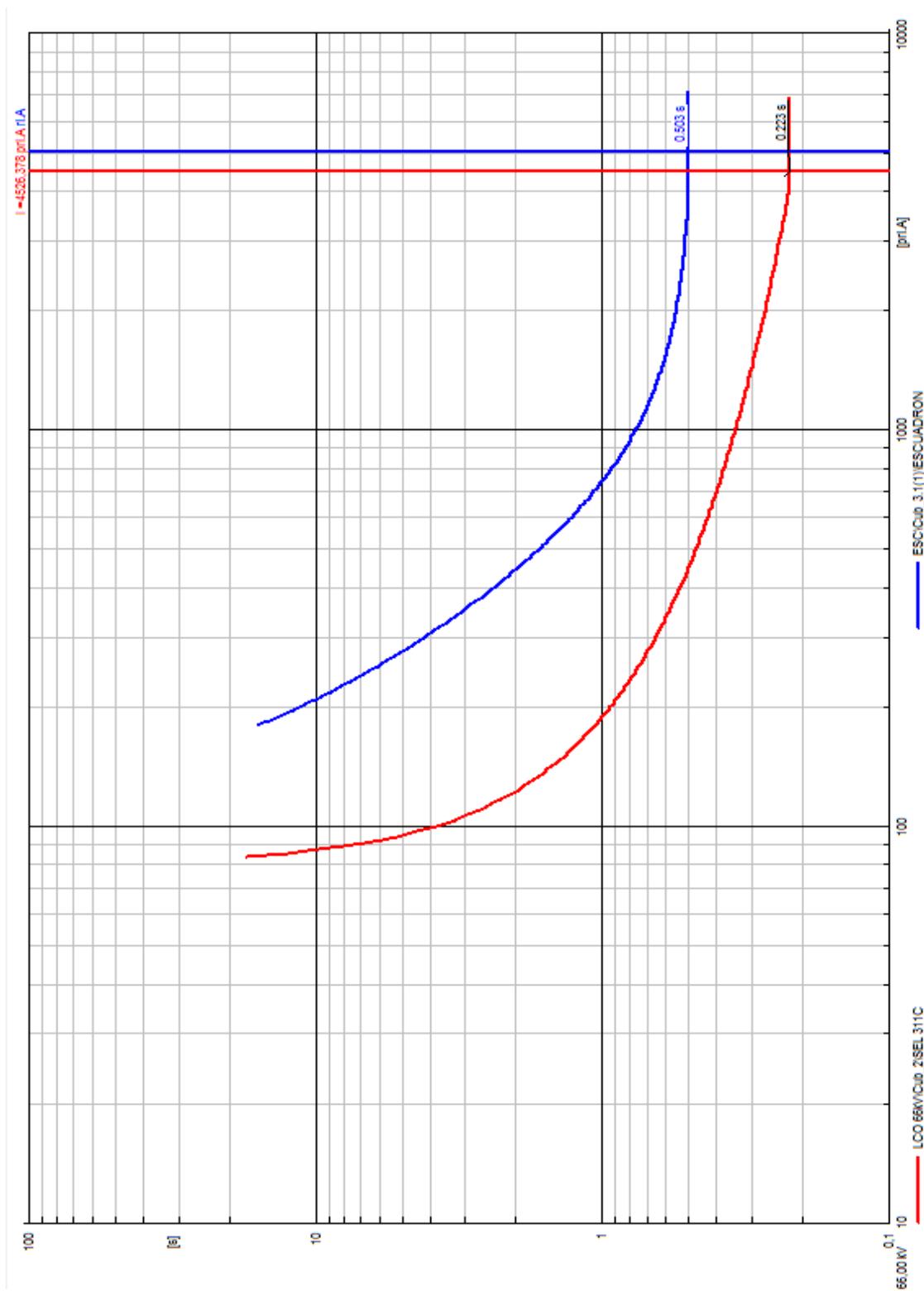


Figura B.39 Relé de sobrecorriente 51/51N

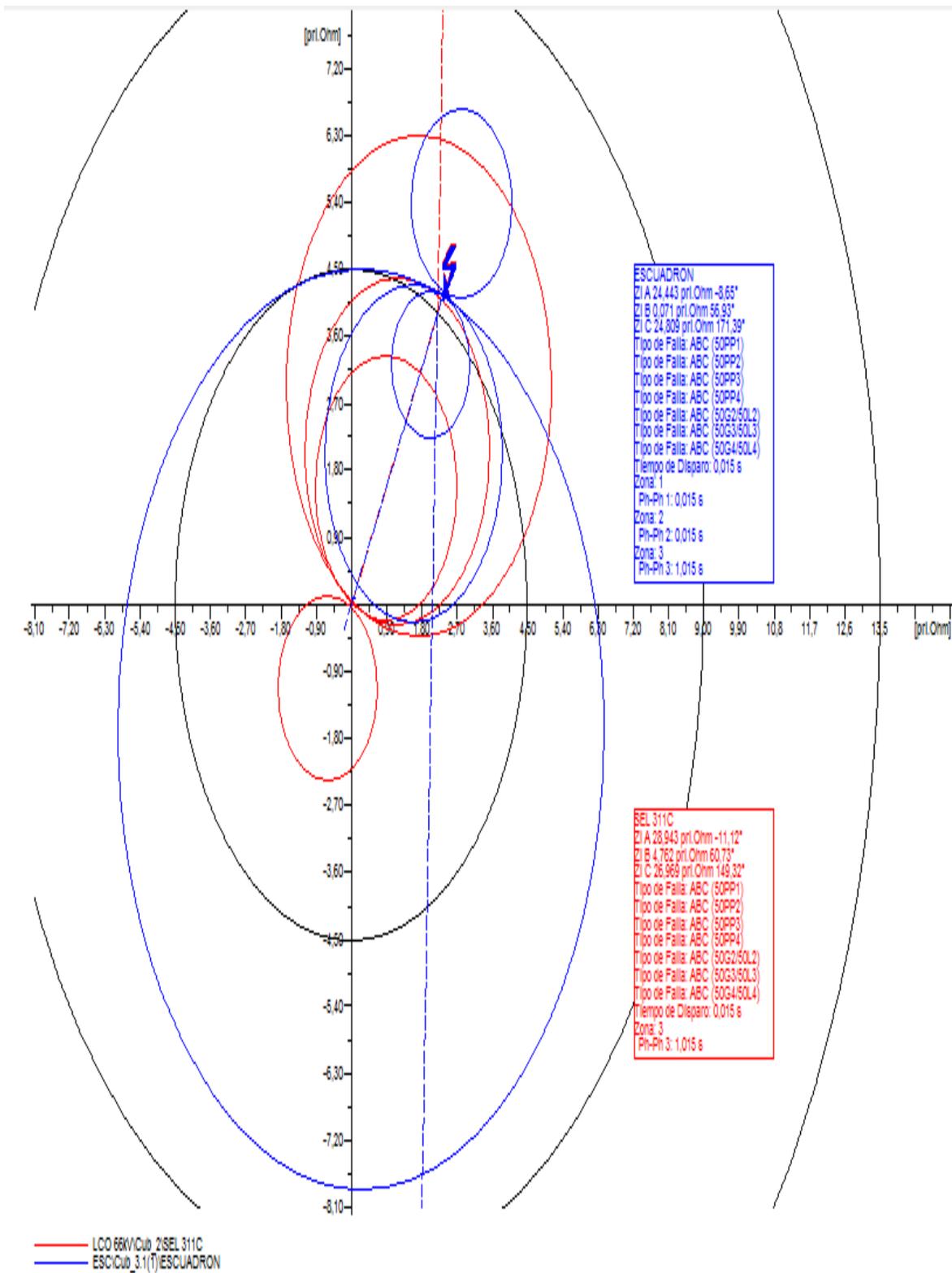


Figura B.40 Relé de distancia21/21N

Fallas monofásicas

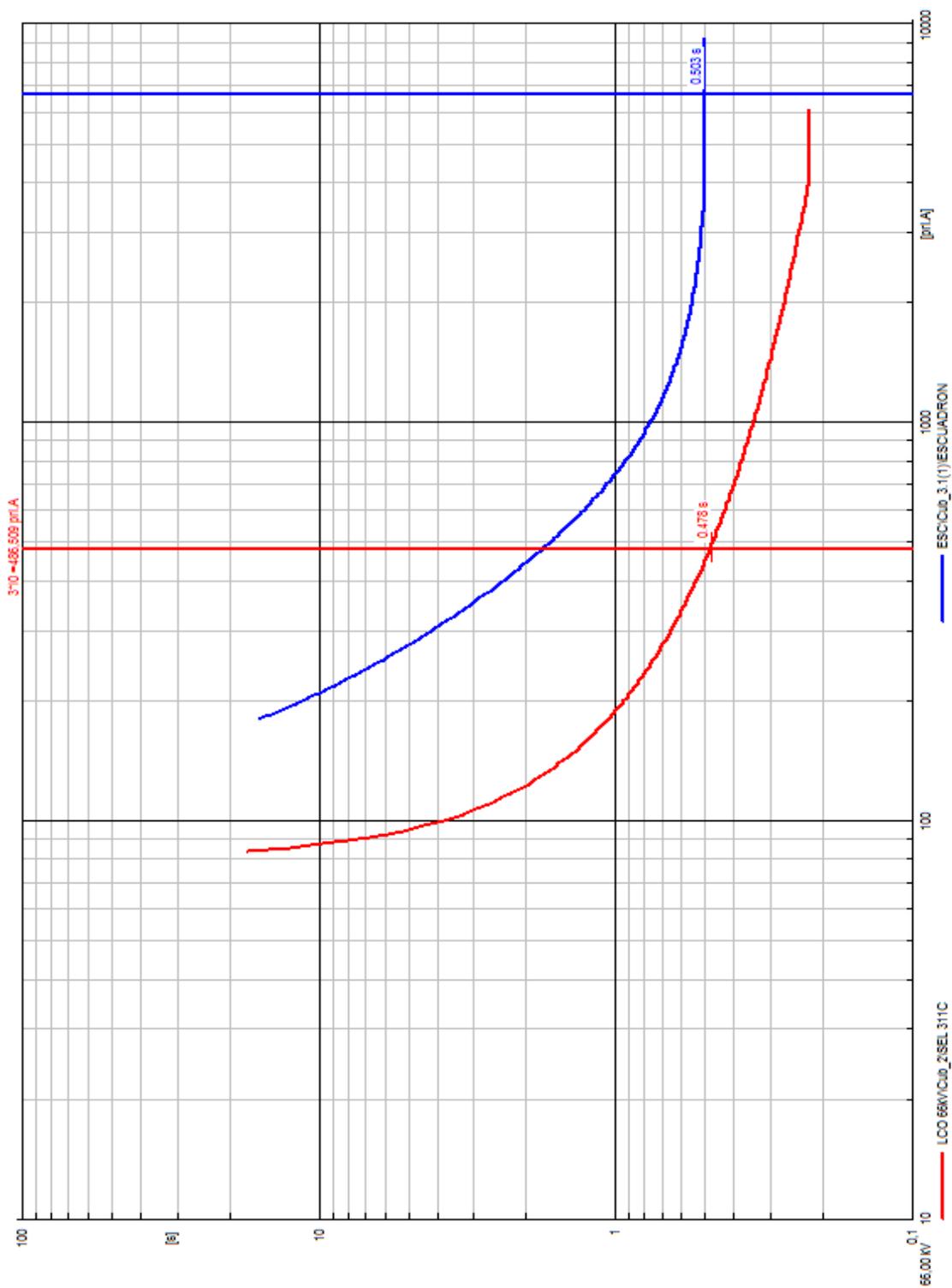


Figura B.41 Relé de sobrecorriente51/51N

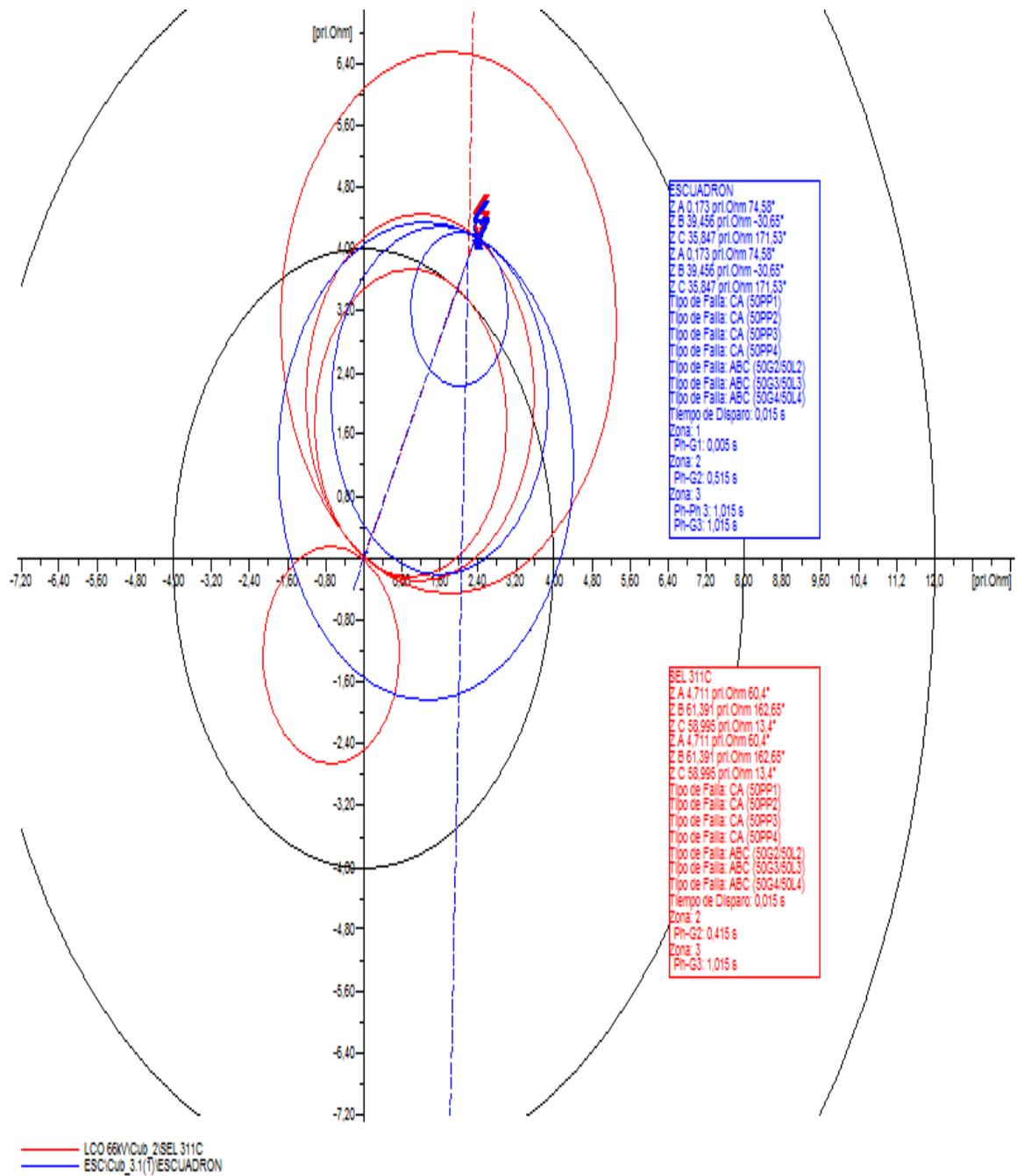


Figura B.42 Relé de distancia21/21N

Fallas bifásicas a tierra

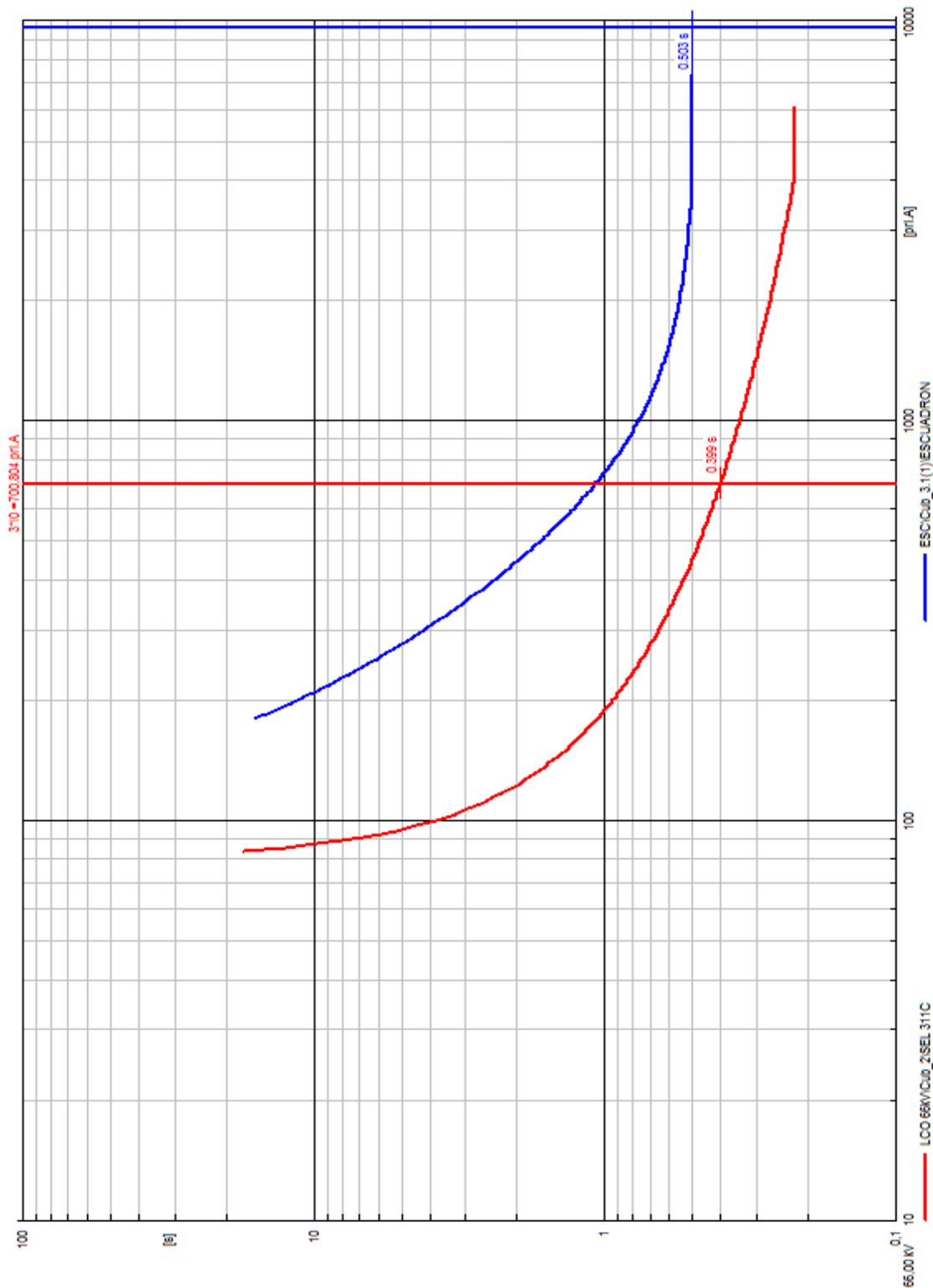


Figura B.43 Relé de sobrecorriente 51/51N

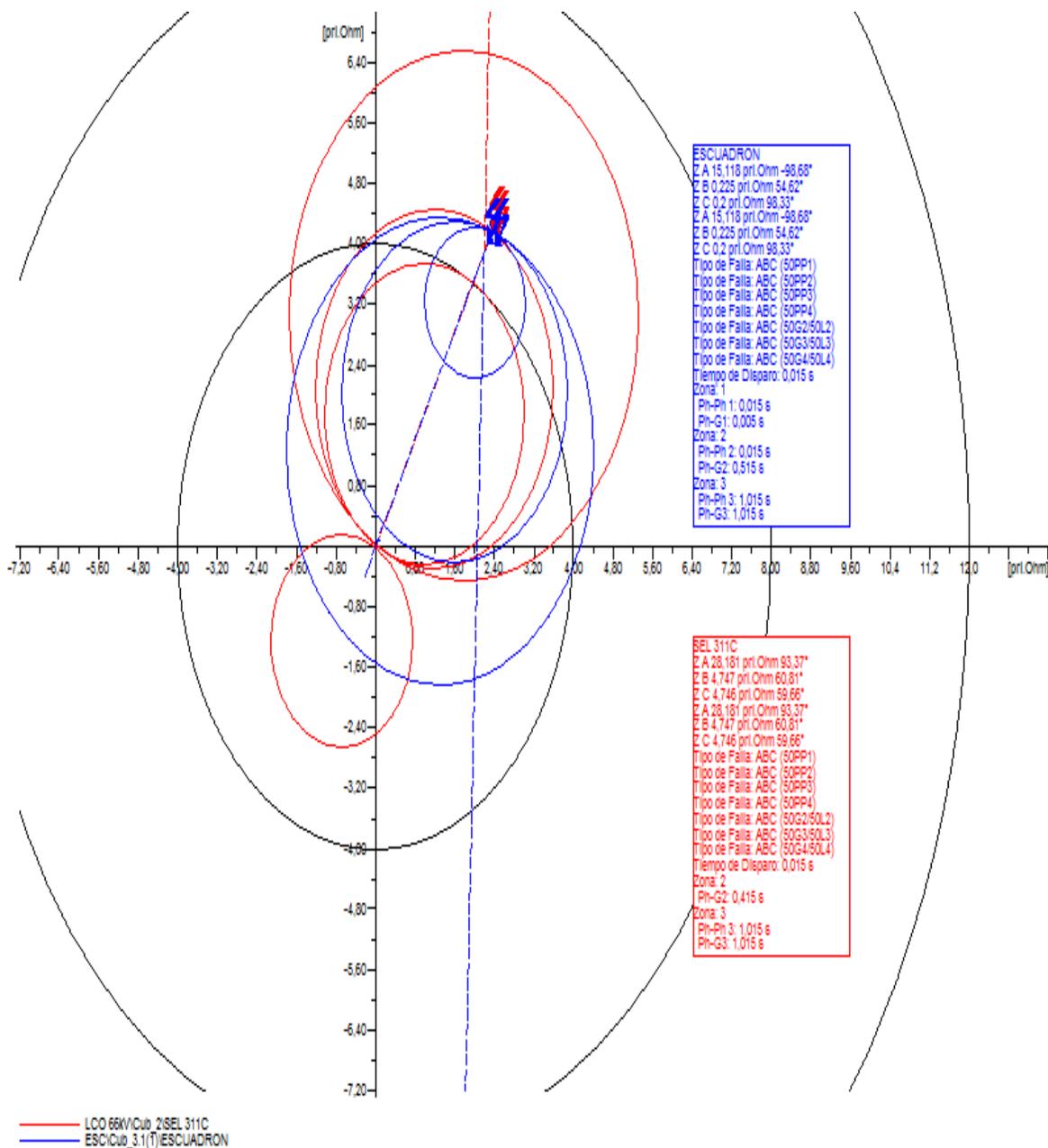


Figura B.44 Relé de distancia21/21N

Fallas monofásicas con impedancia de 25 Ω

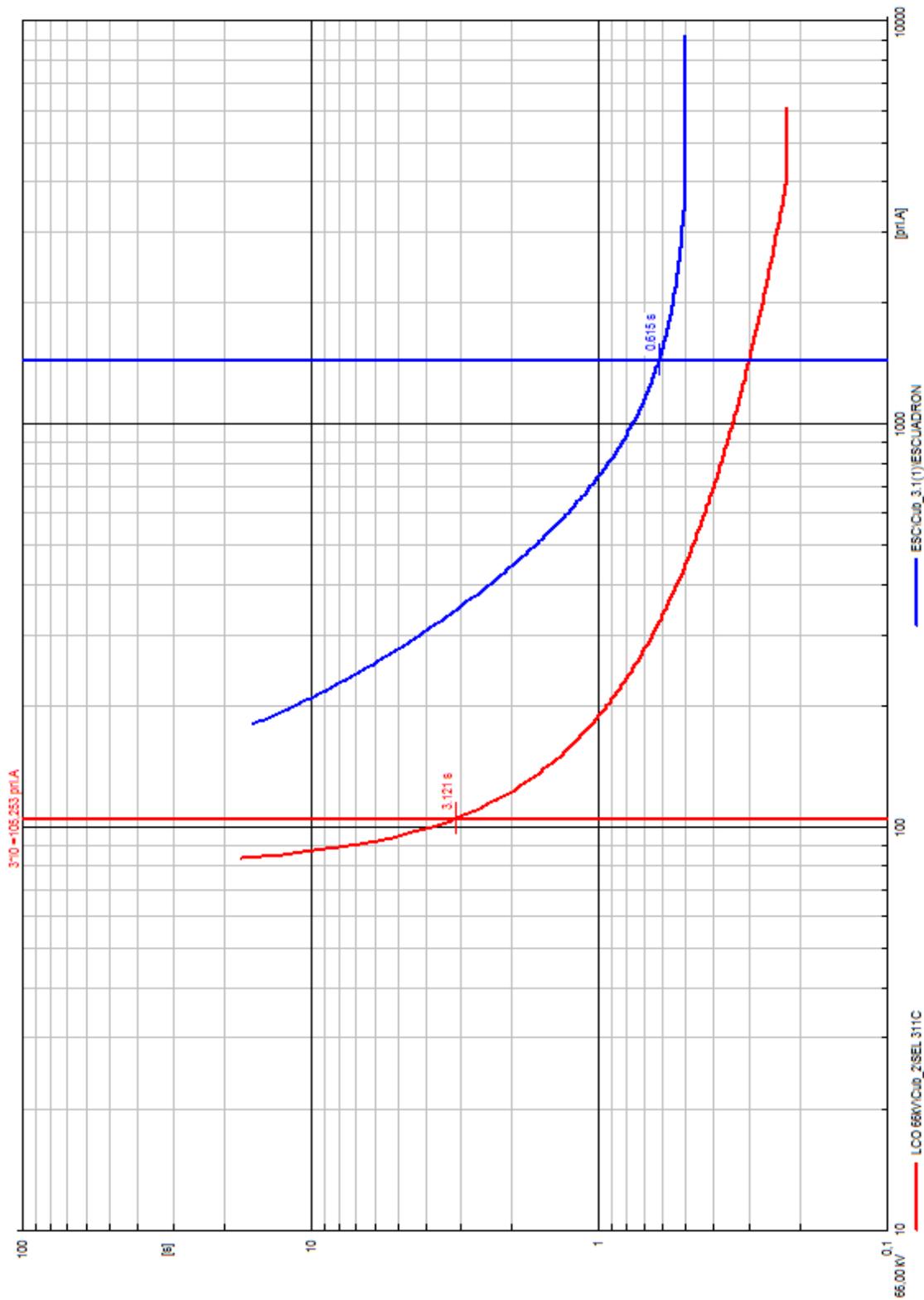


Figura B.45 Relé de sobrecorriente51/51N

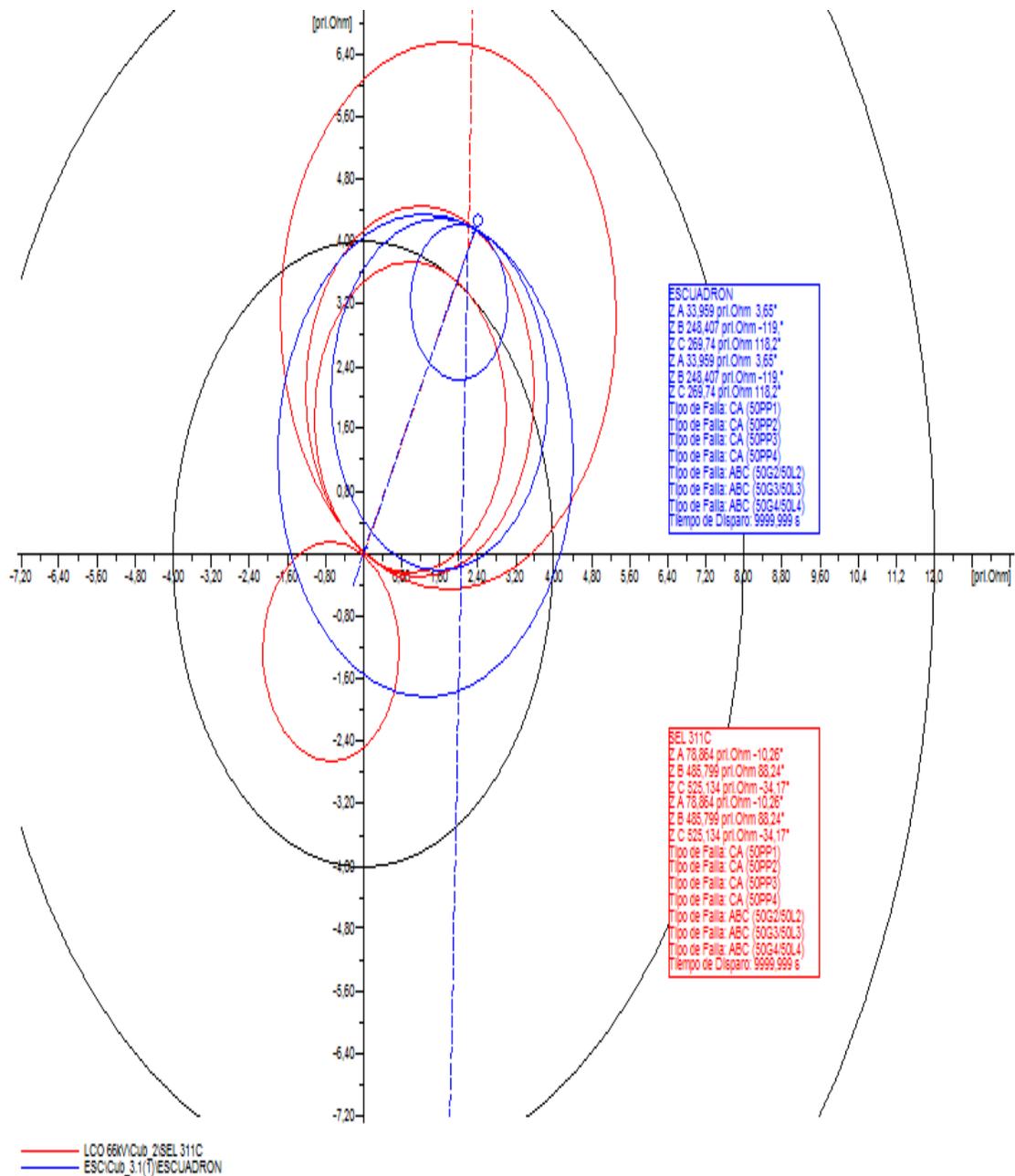


Figura B.46 Relé de distancia21/21N

Fallas bifásicas a tierra con impedancia de 25 Ω

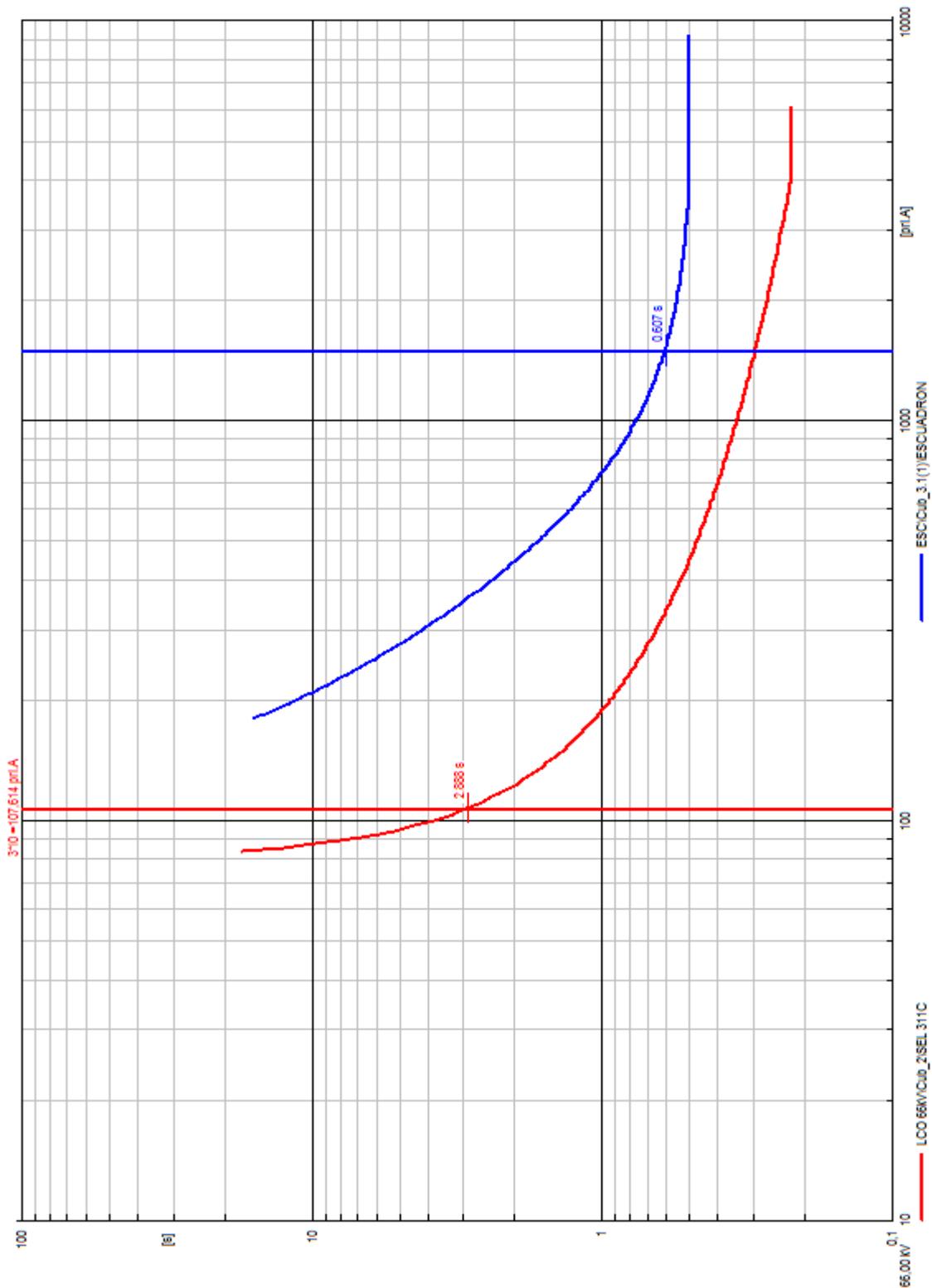


Figura B.47 Relé de sobrecorriente 51/51N

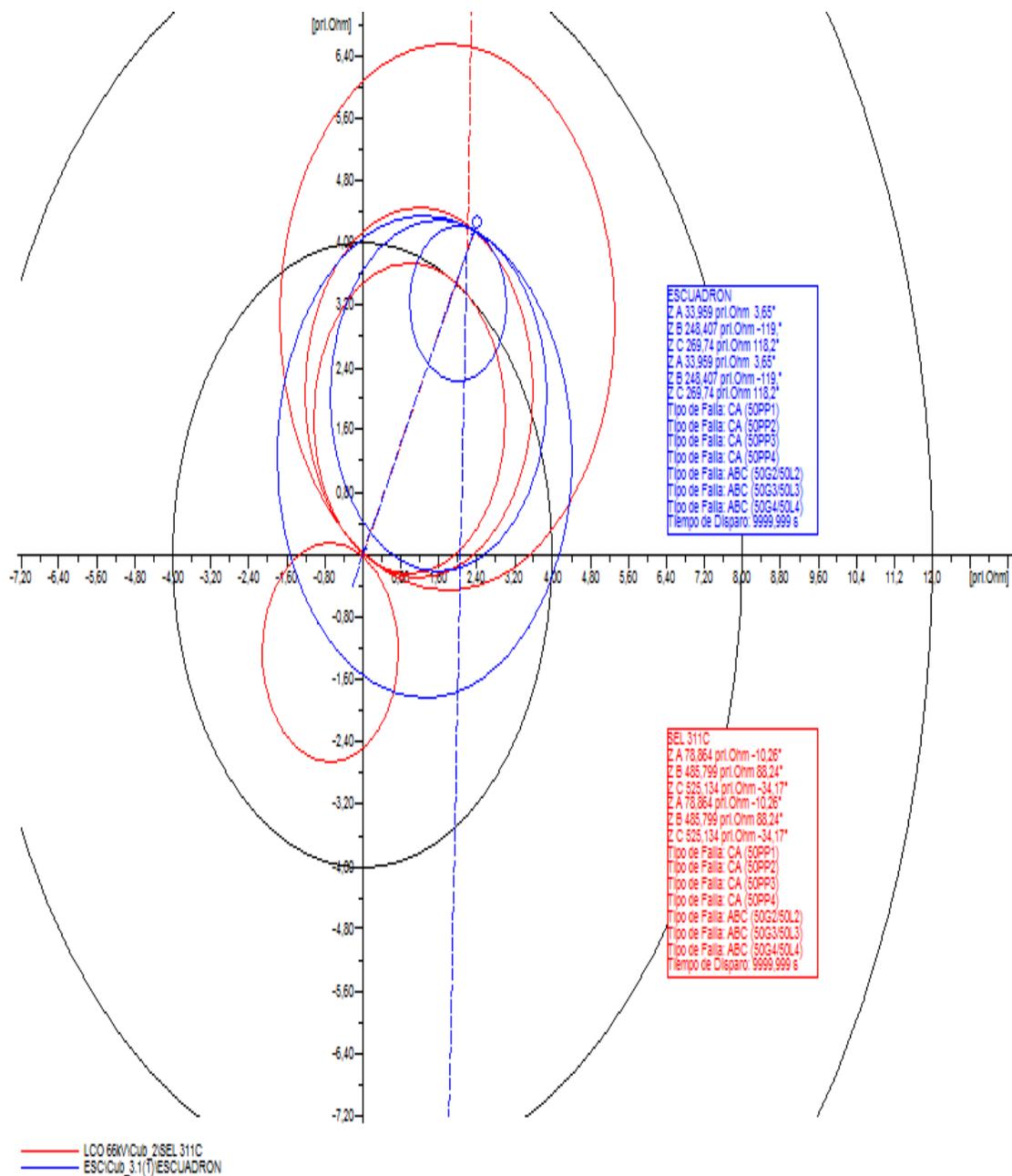


Figura B.48 Relé de distancia21/21N

### Falla al 80% del tramo EFE con generación

Fallas trifásicas

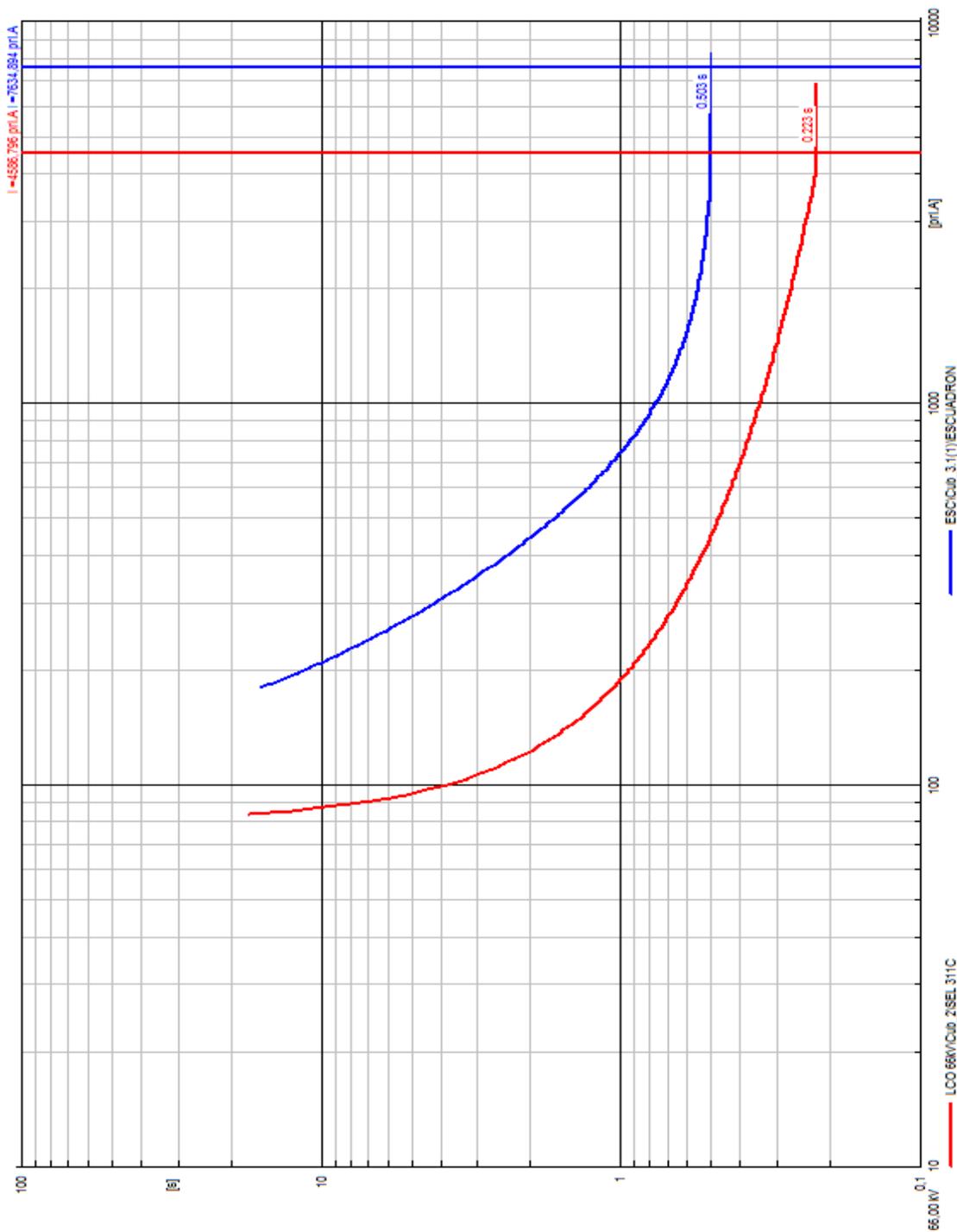


Figura B.49 Relé de sobrecorriente51/51N

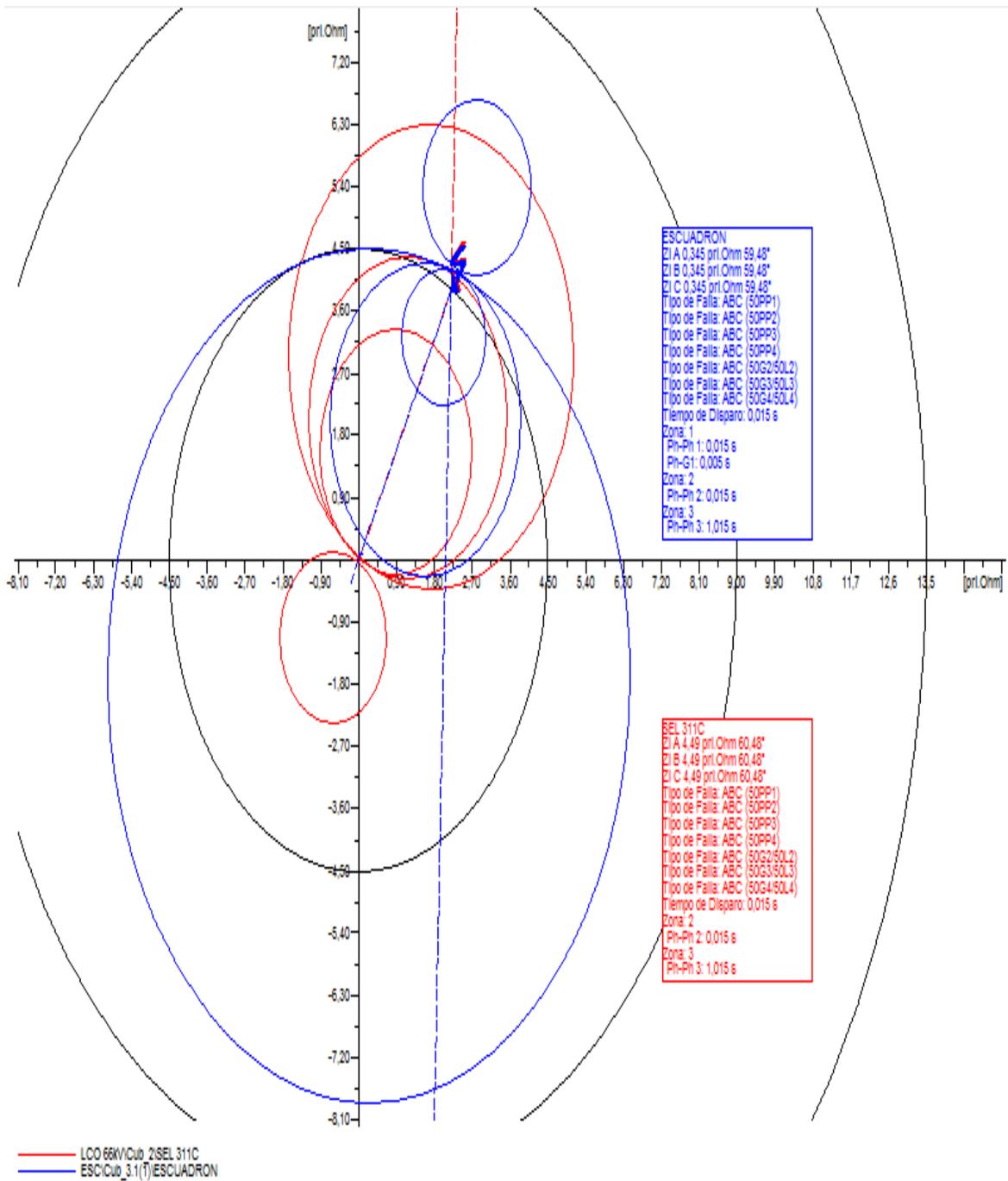


Figura B.50 Relé de distancia21/21N

Fallas bifásicas

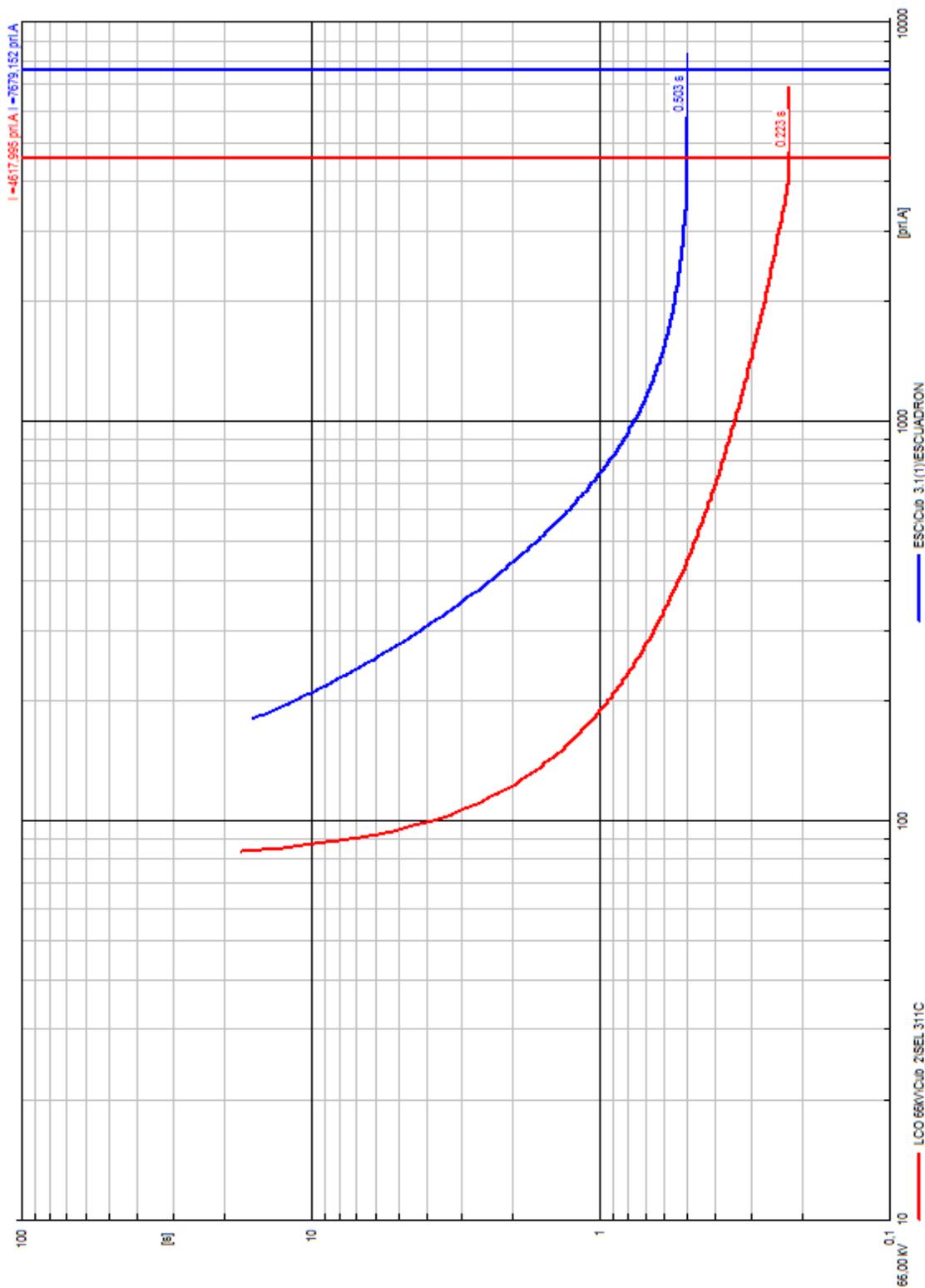


Figura B.51 Relé de sobrecorriente51/51N

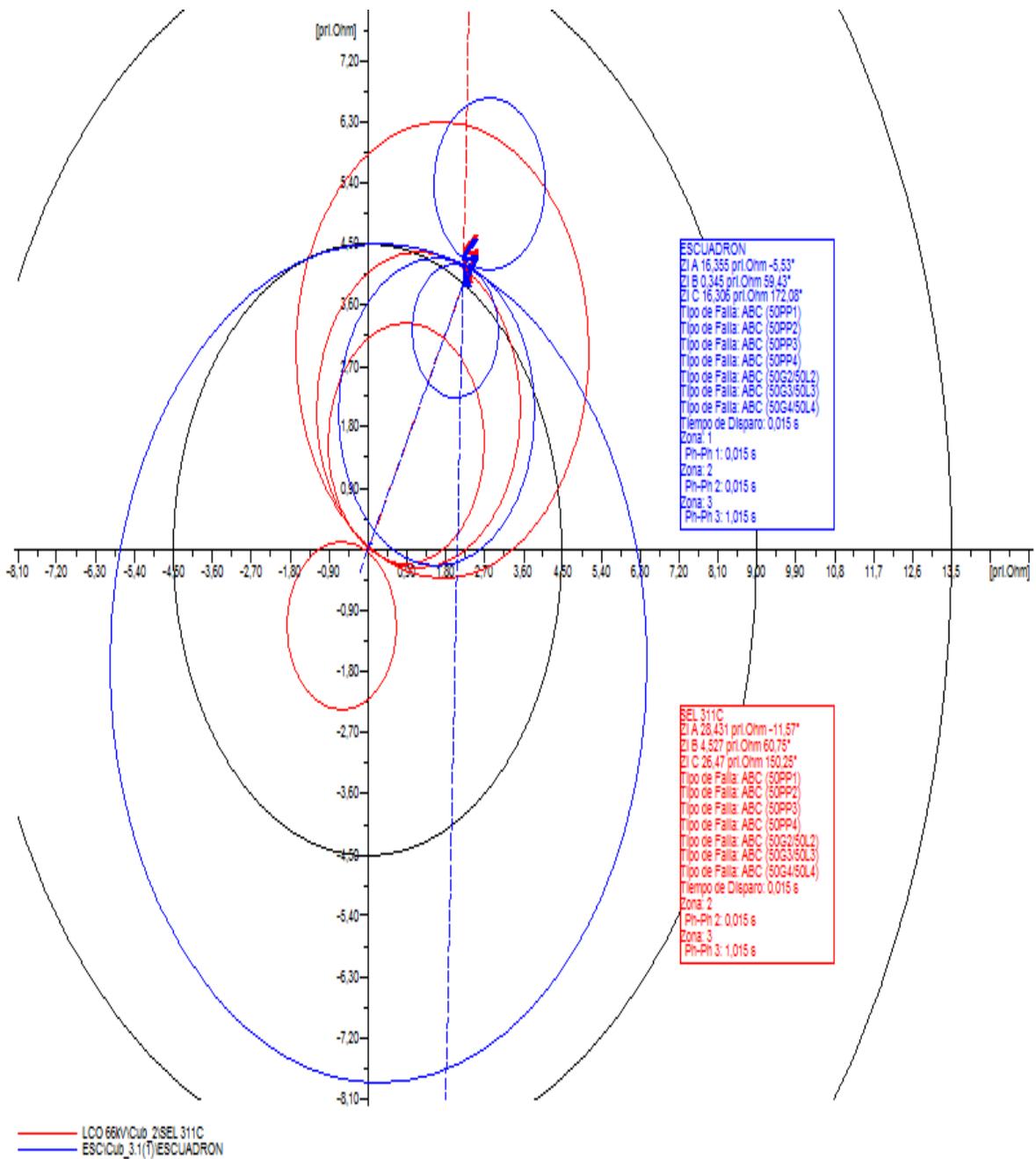


Figura B.52 Relé de distancia21/21N

Fallas monofásicas

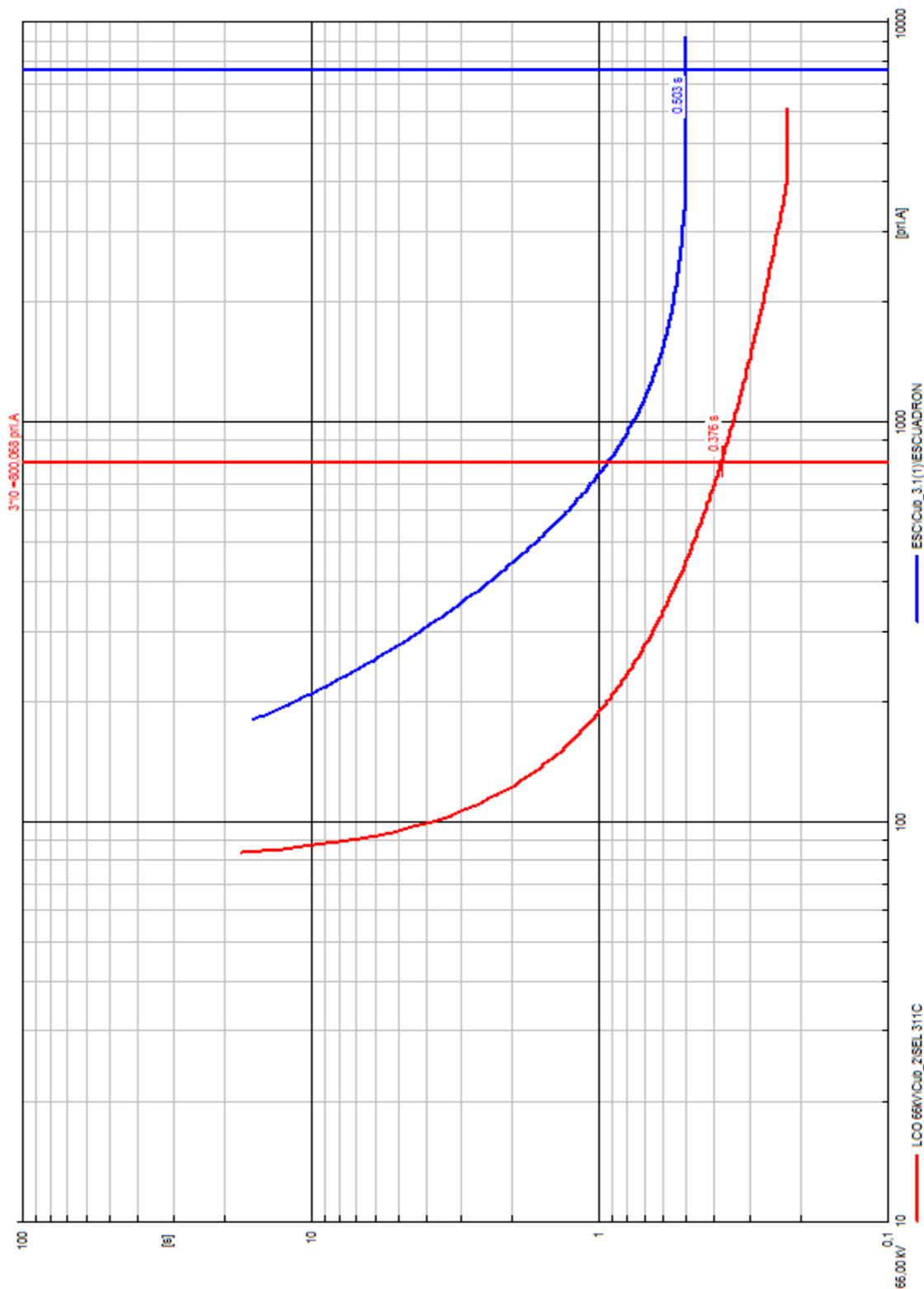


Figura B.53 Relé de sobrecorriente51/51N

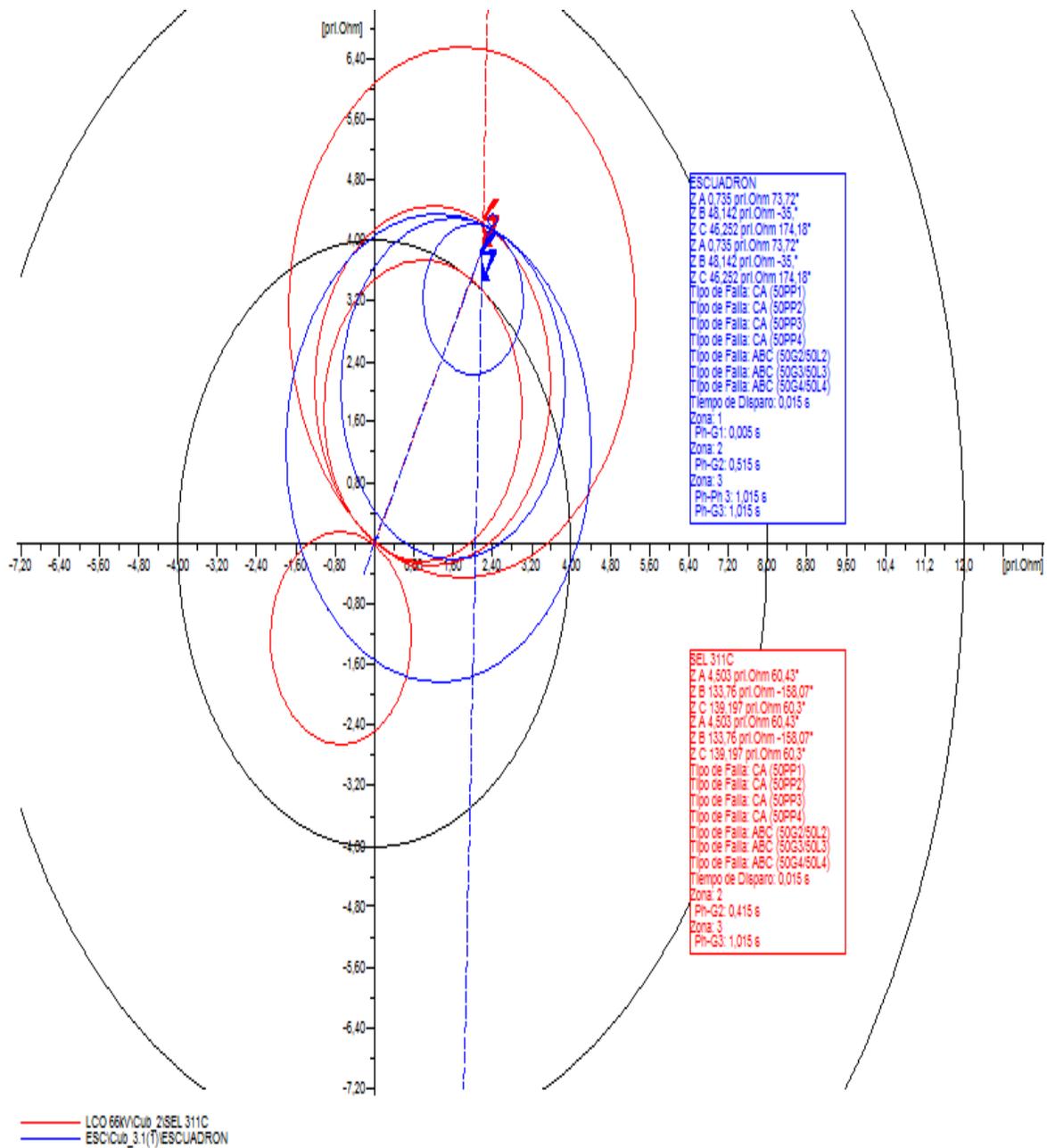


Figura B.54 Relé de distancia21/21N

Fallas bifásicas a tierra

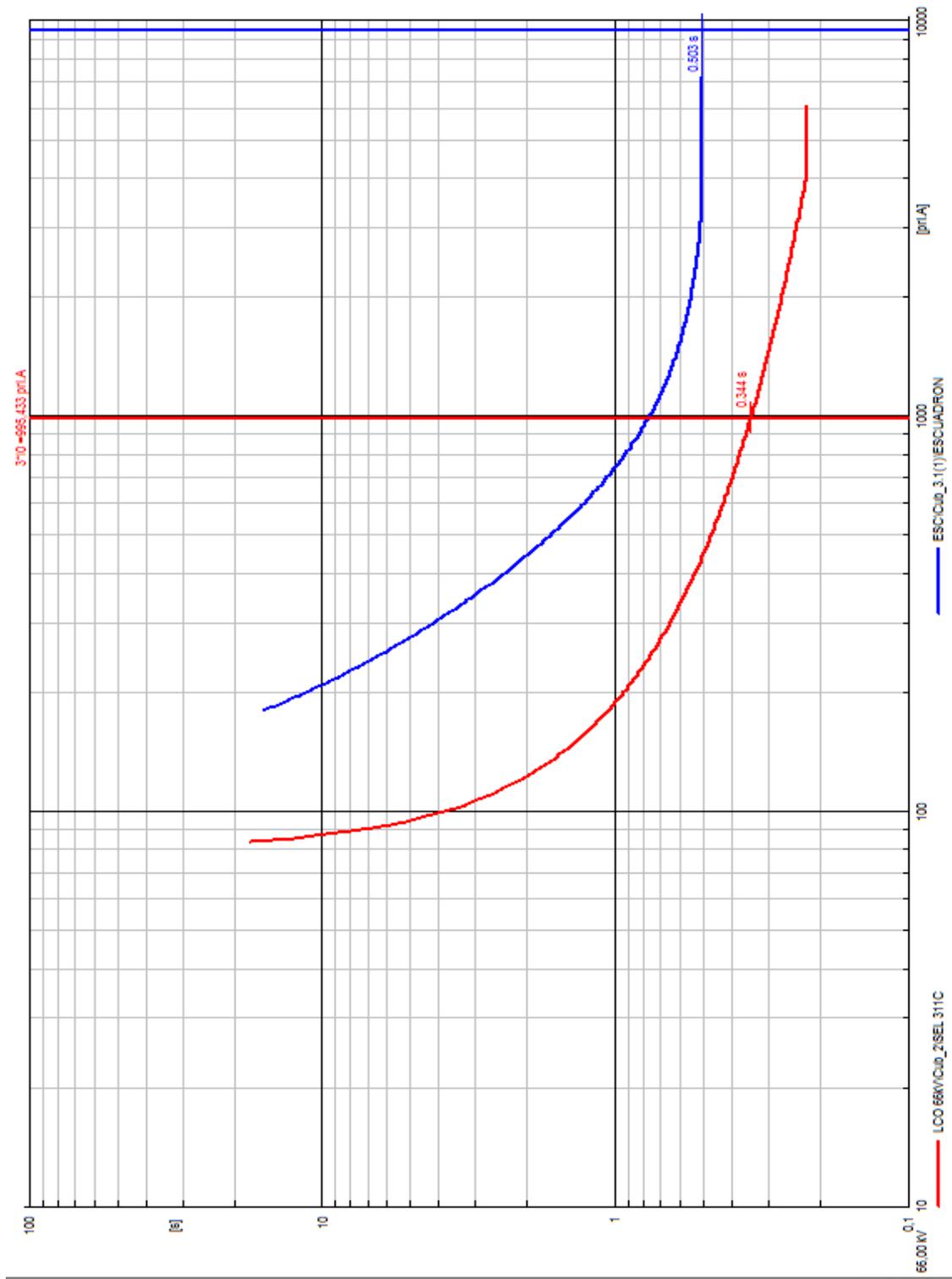


Figura B.55 Relé de sobrecorriente 51/51N

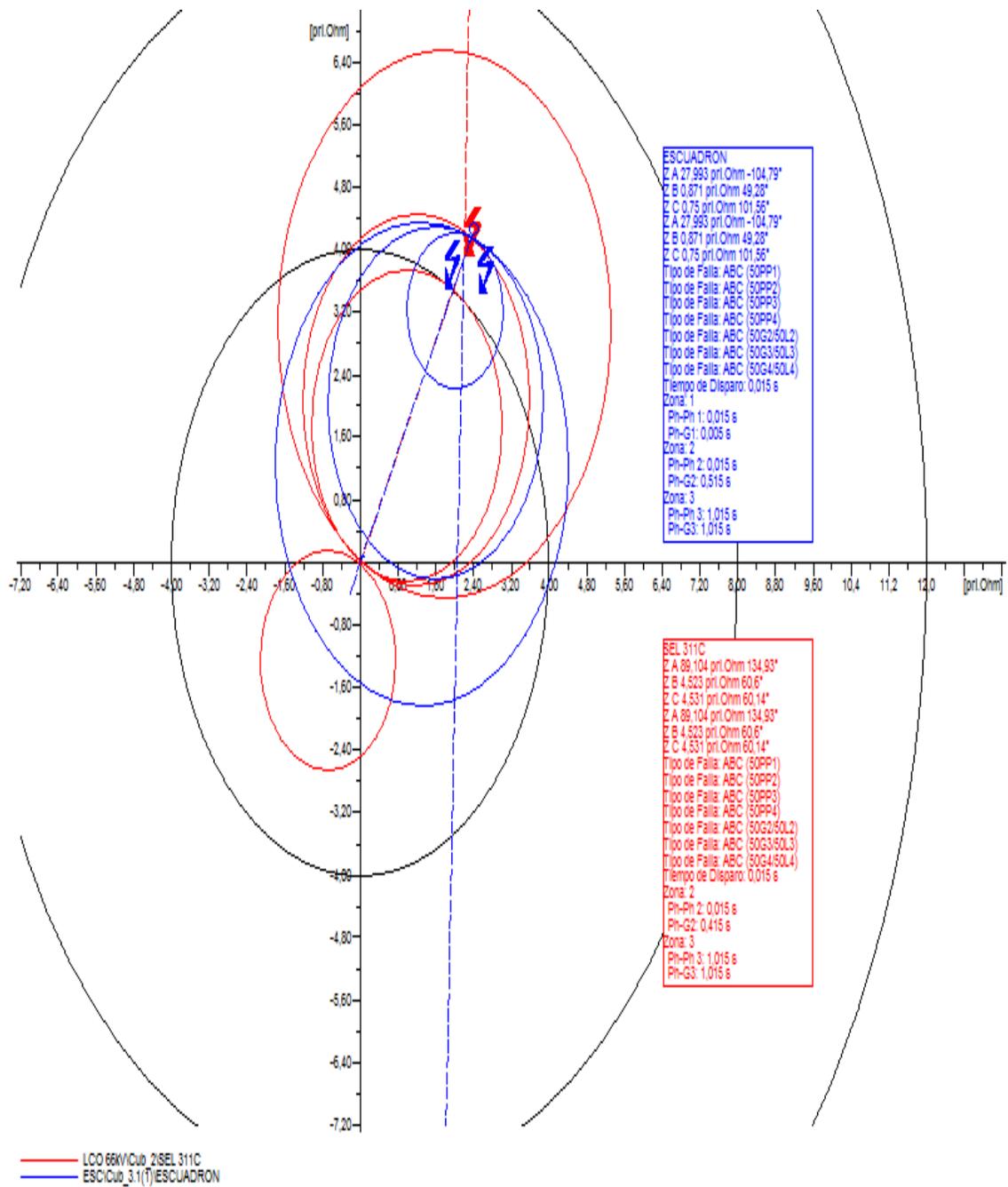


Figura B.56 Relé de distancia21/21N

Fallas monofásicas con impedancia de 25 Ω

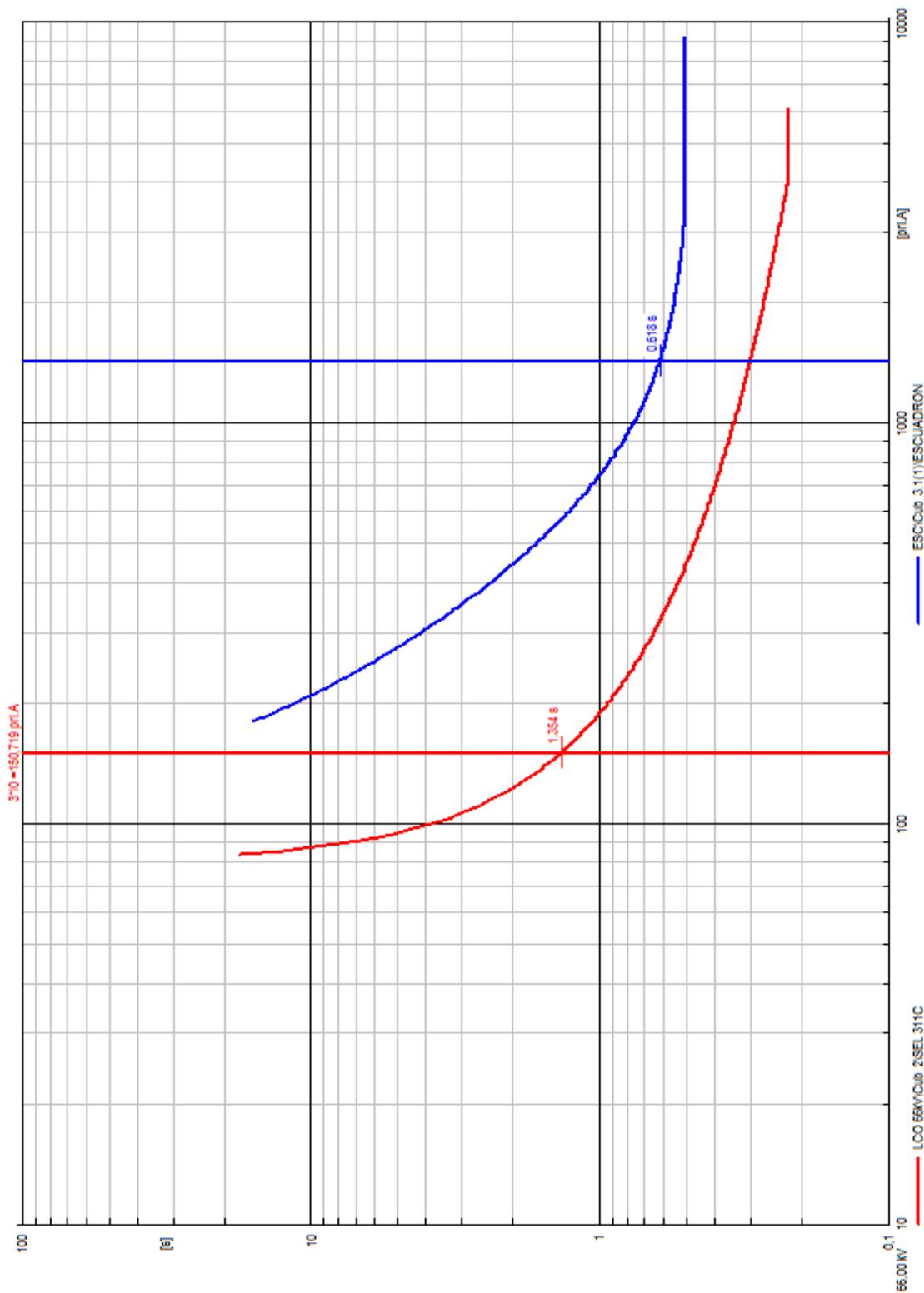


Figura B.57 Relé de sobrecorriente 51/51N

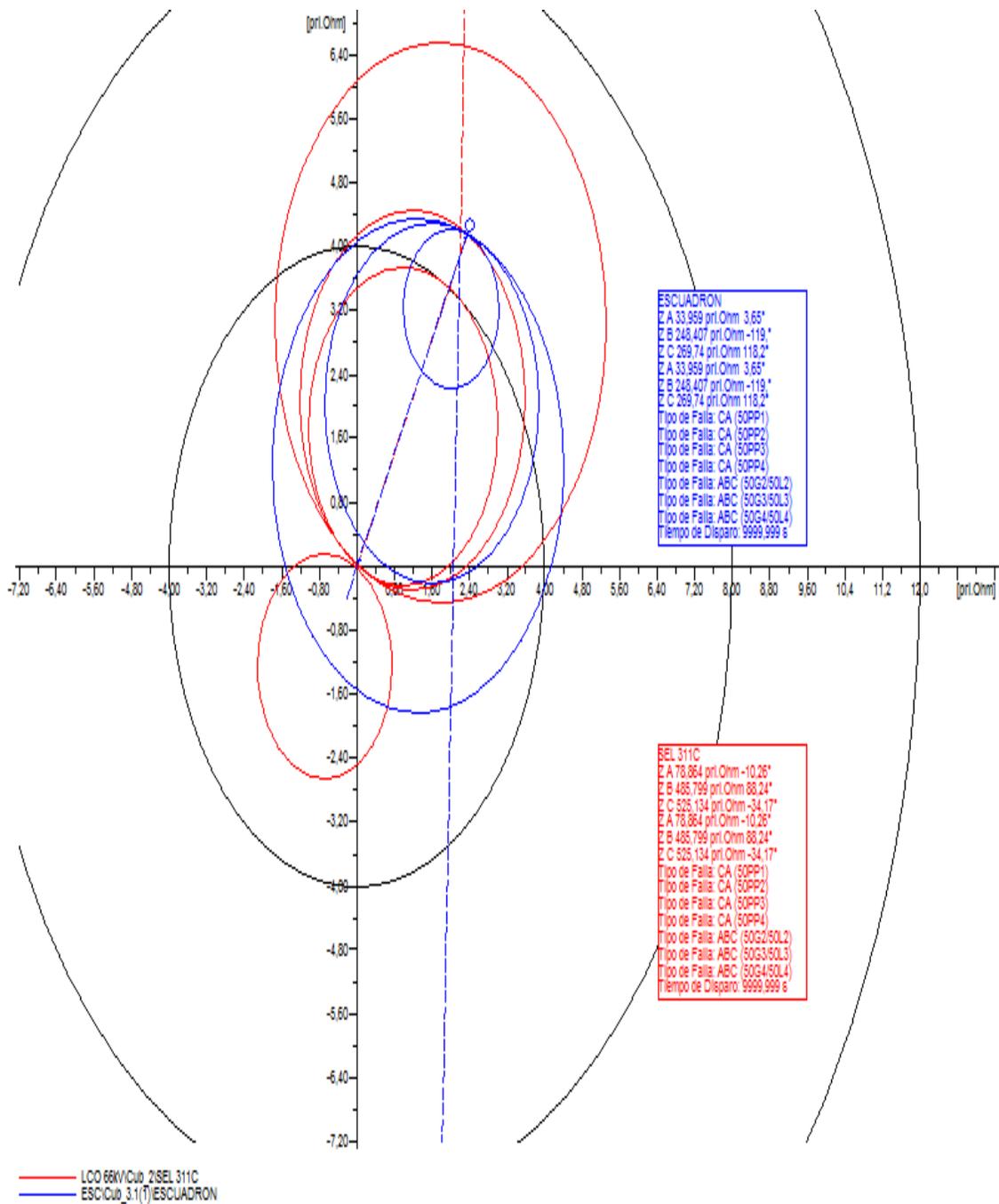


Figura B.58 Relé de distancia21/21N

Fallas bifásicas a tierra con impedancia de 25Ω

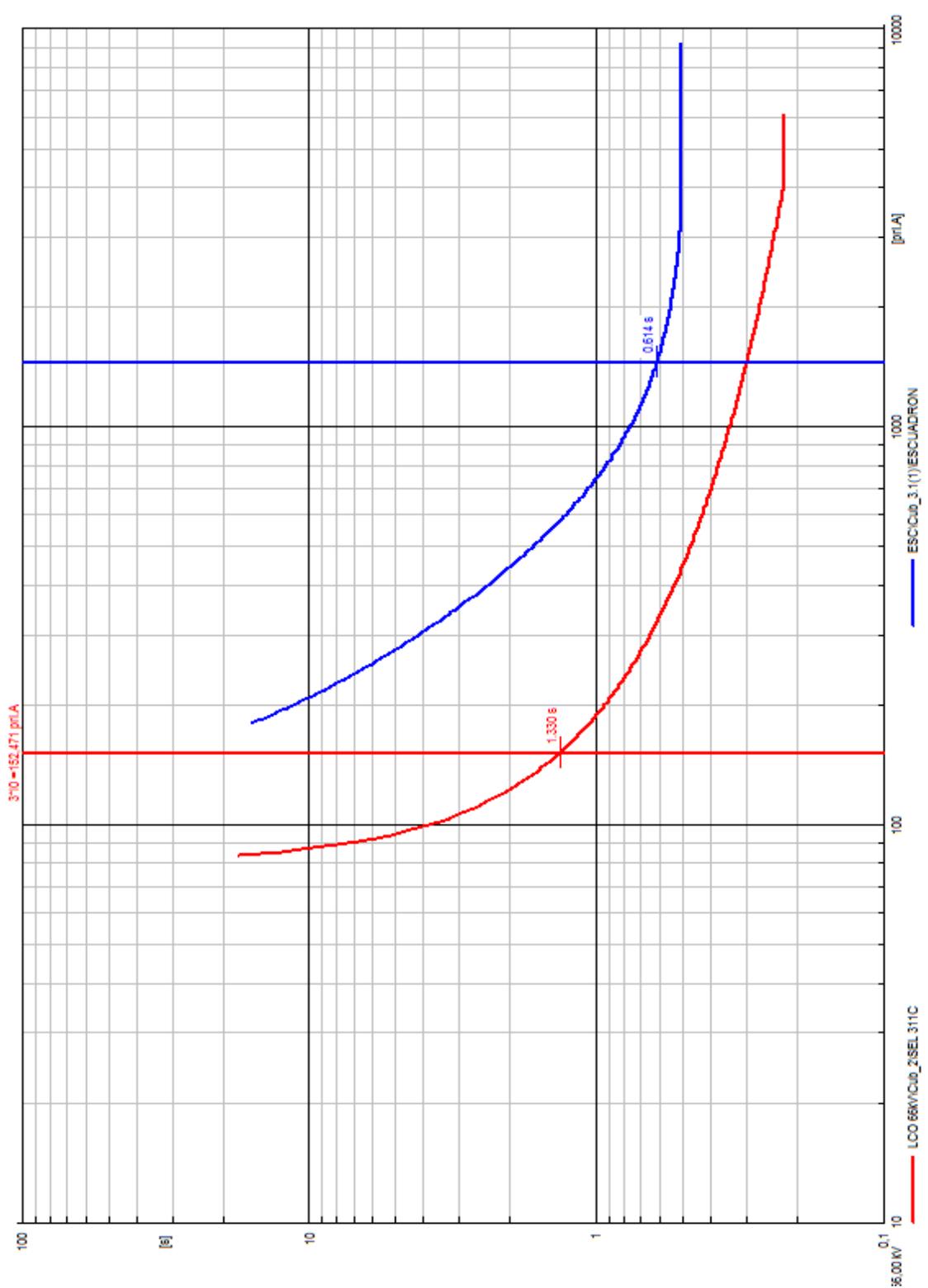


Figura B.59 Relé de sobrecorriente51/51N

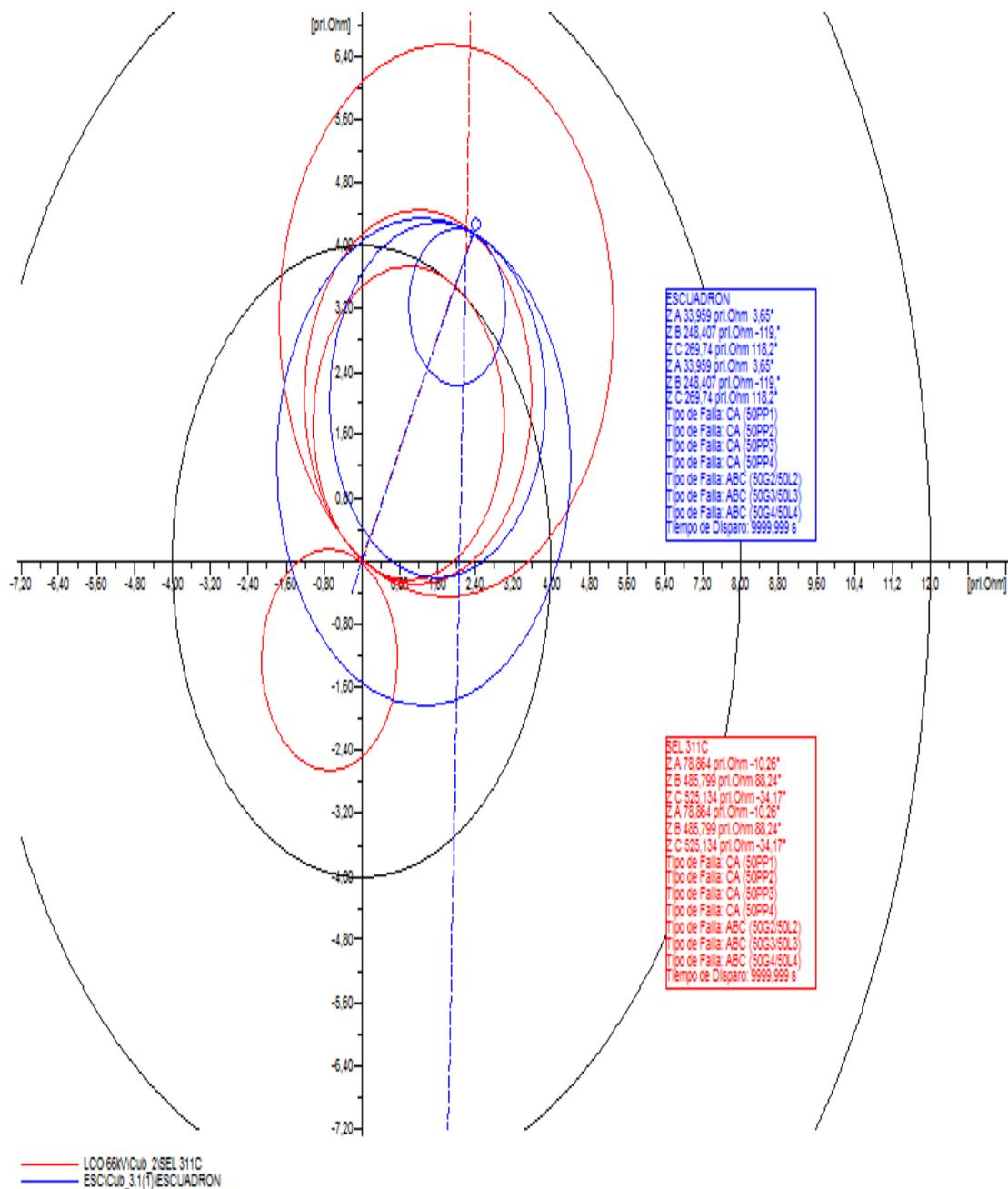


Figura B.60 Relé de distancia21/21N

### Falla al 80% del tramo EFE sin generación

Fallas trifásicas

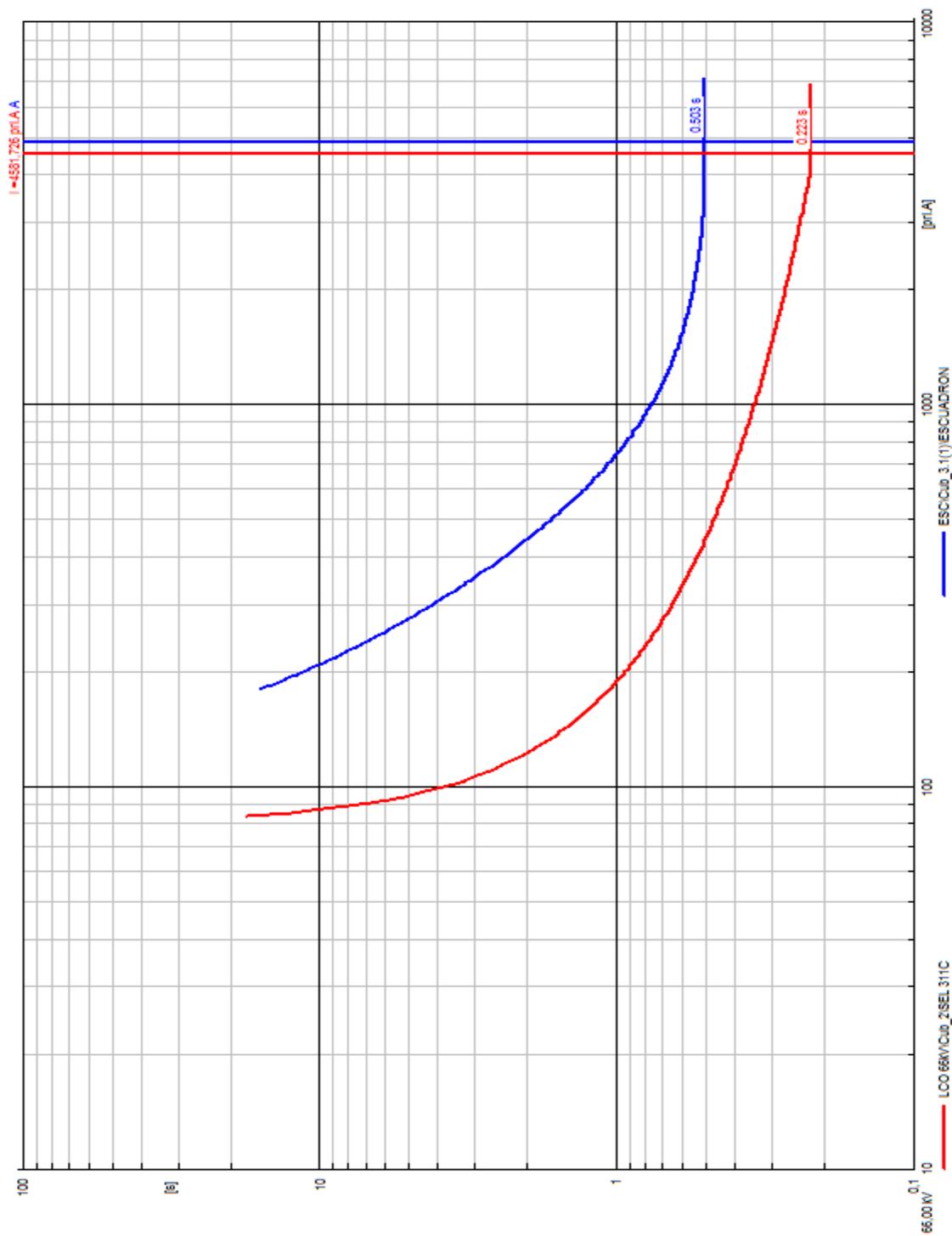


Figura B.61 Relé de sobrecorriente 51/51N

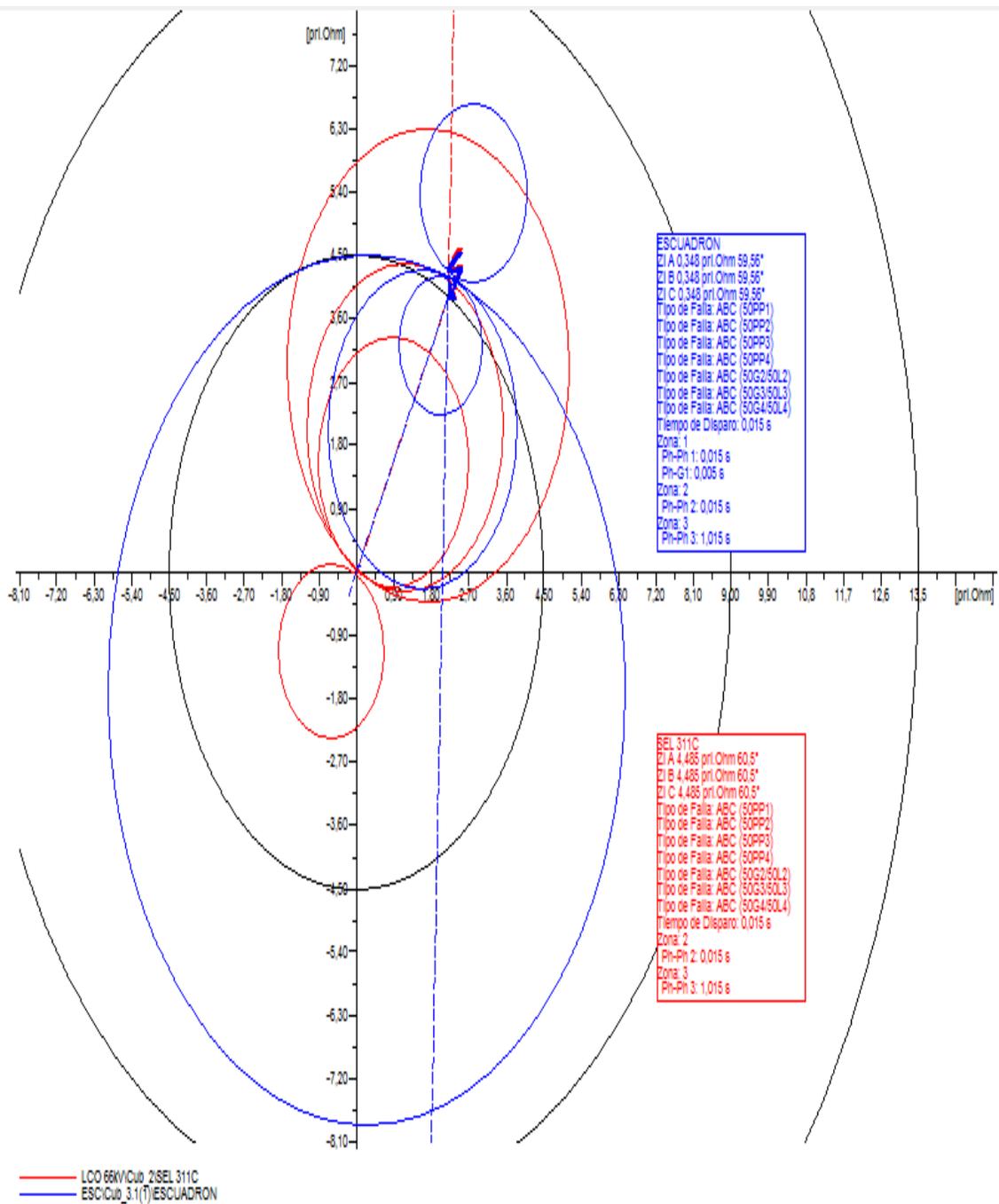


Figura B.62 Relé de distancia 21/21N

Fallas bifásicas

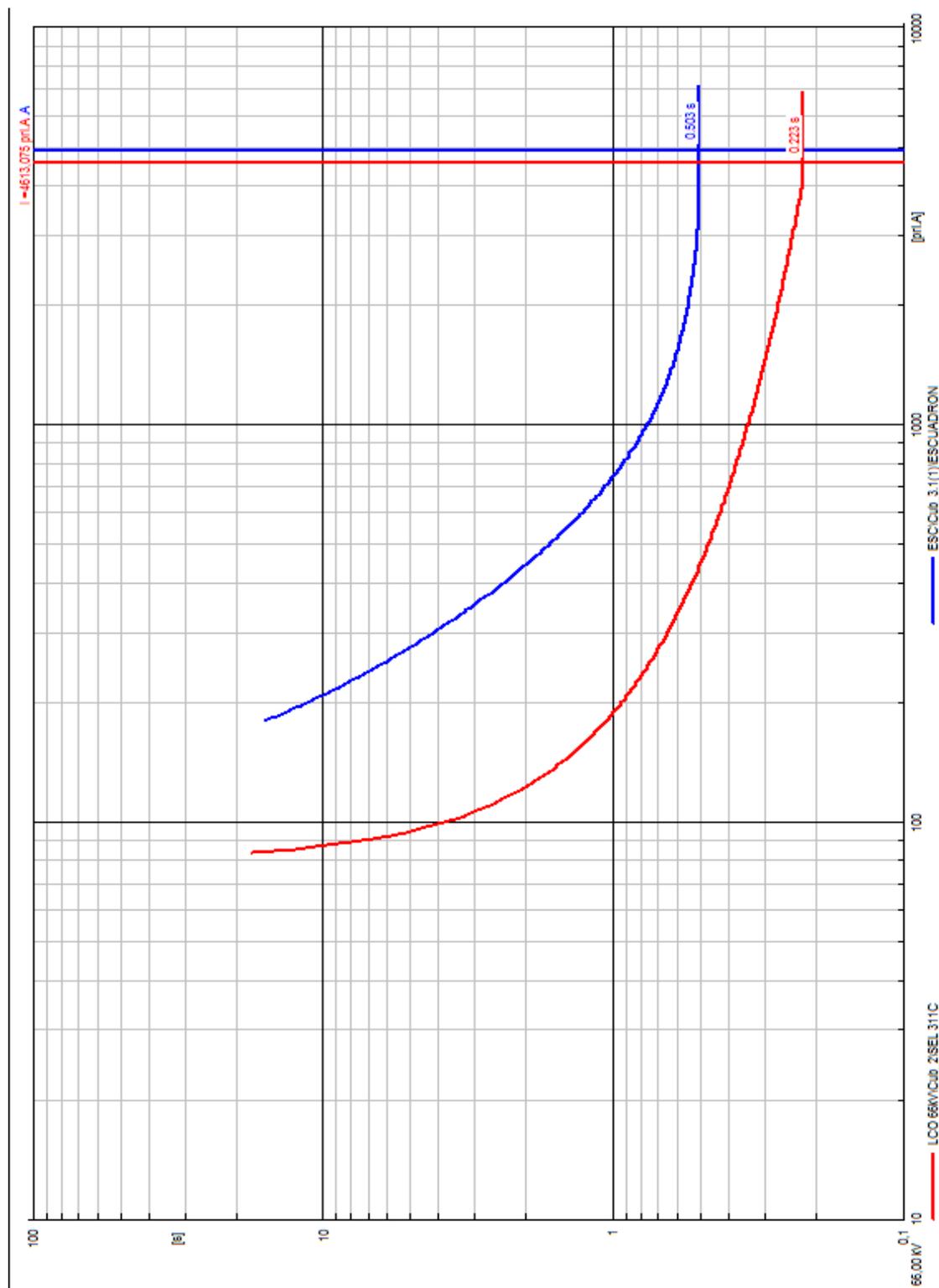


Figura B.63 Relé de sobrecorriente 51/51N

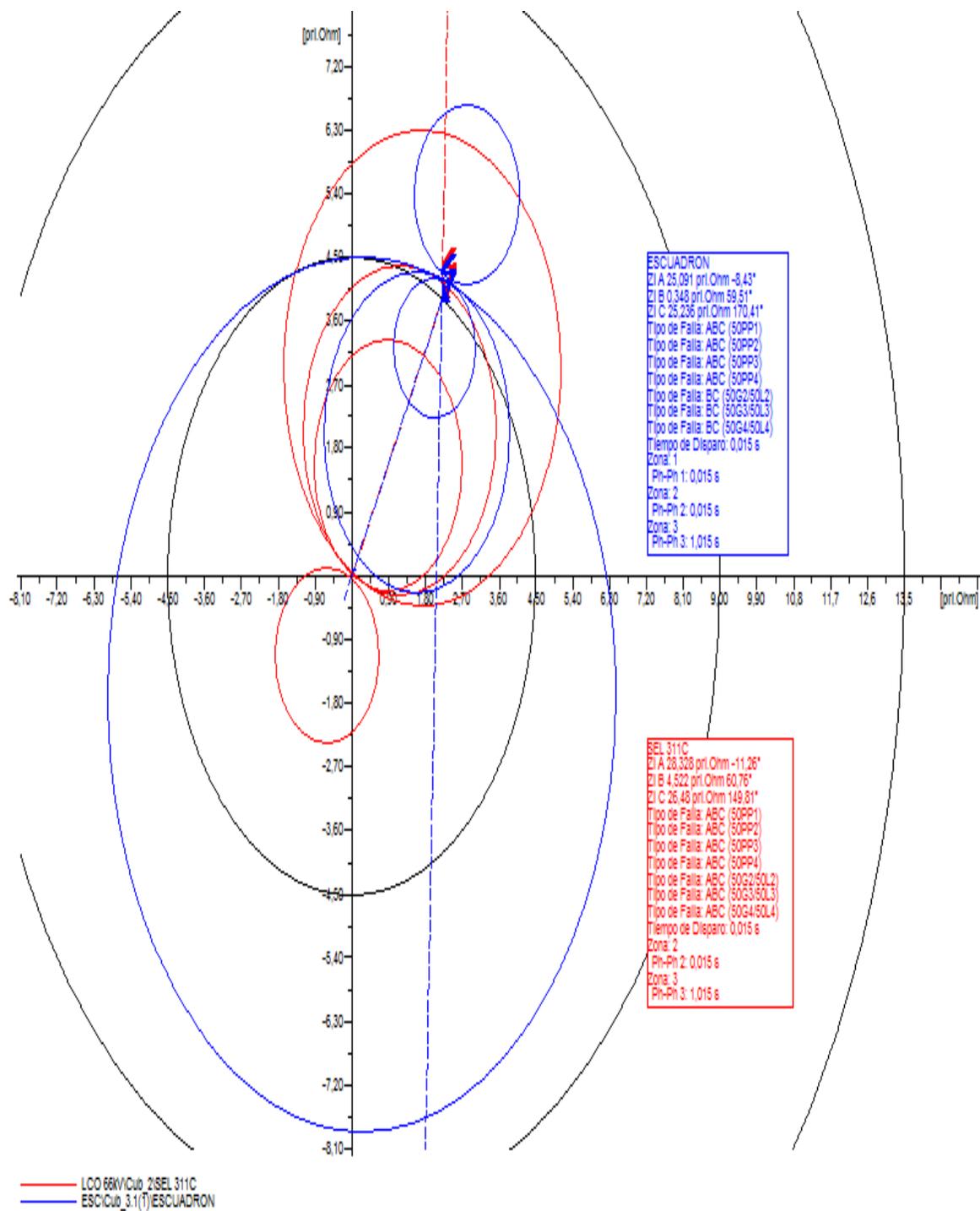


Figura B.64 Relé de distancia21/21N

Fallas monofásicas

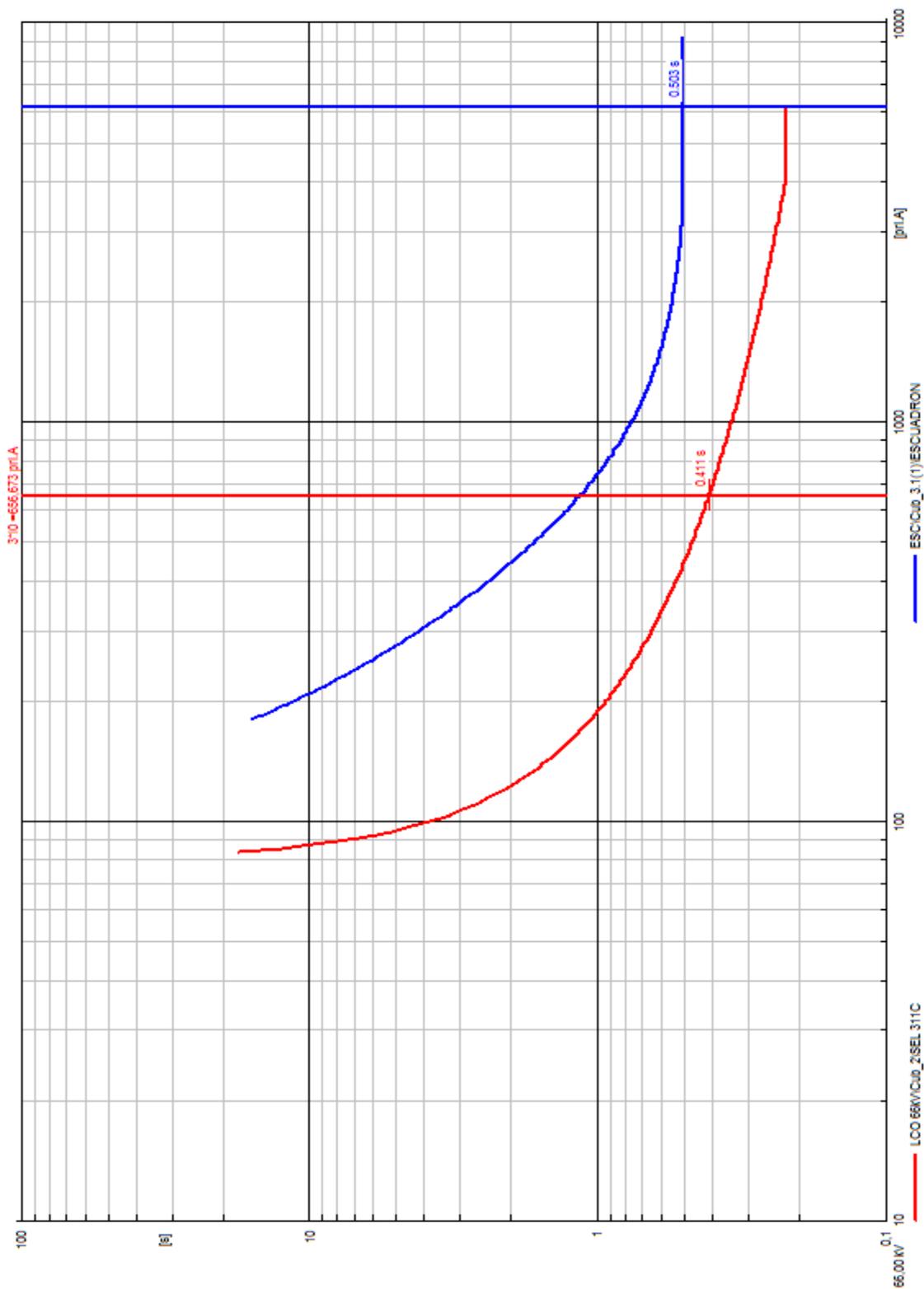


Figura B.65 Relé de sobrecorriente51/51N

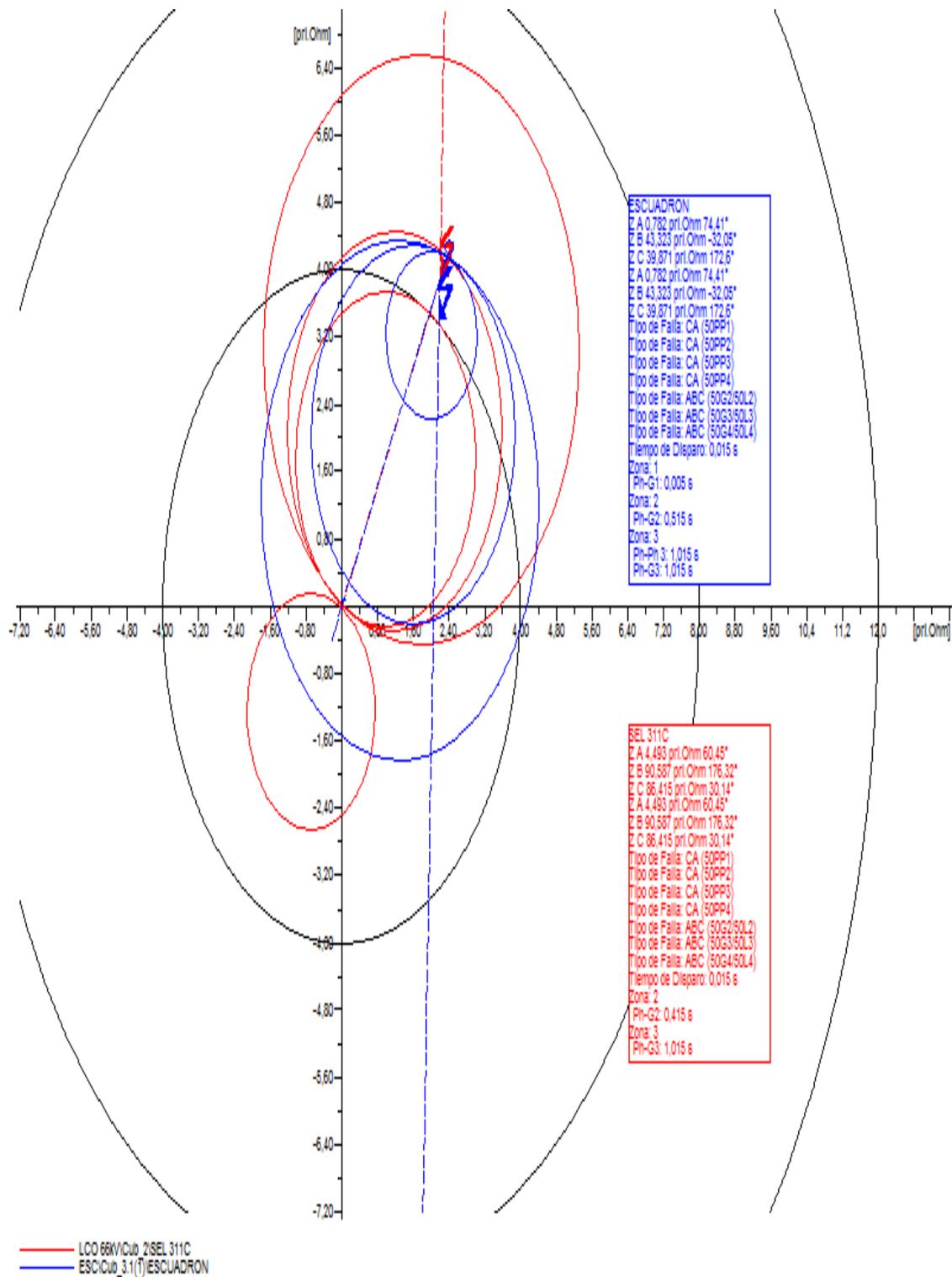


Figura B.66 Relé de distancia21/21N

Fallas bifásicas a tierra

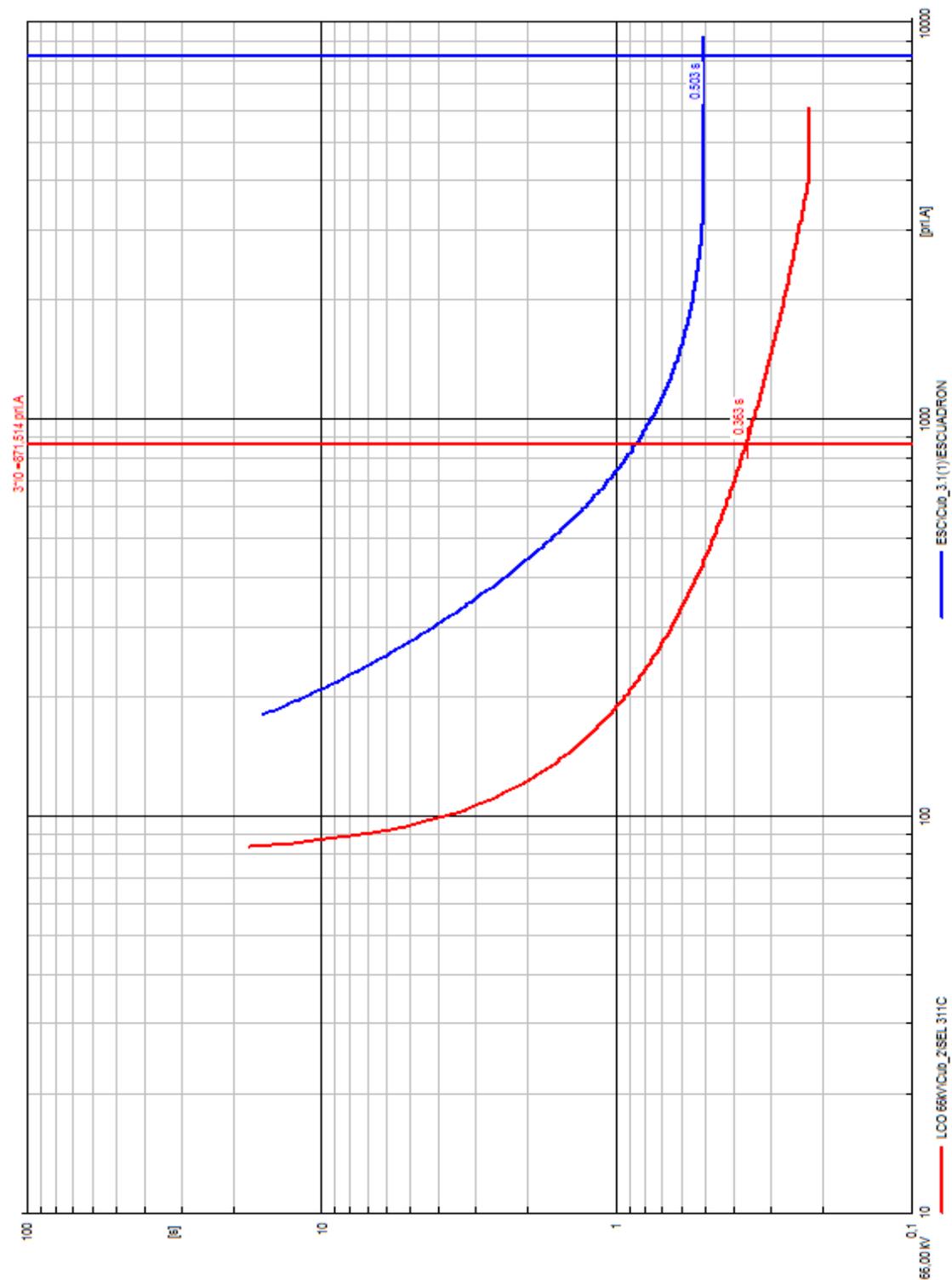


Figura B.67 Relé de sobrecorriente 51/51N

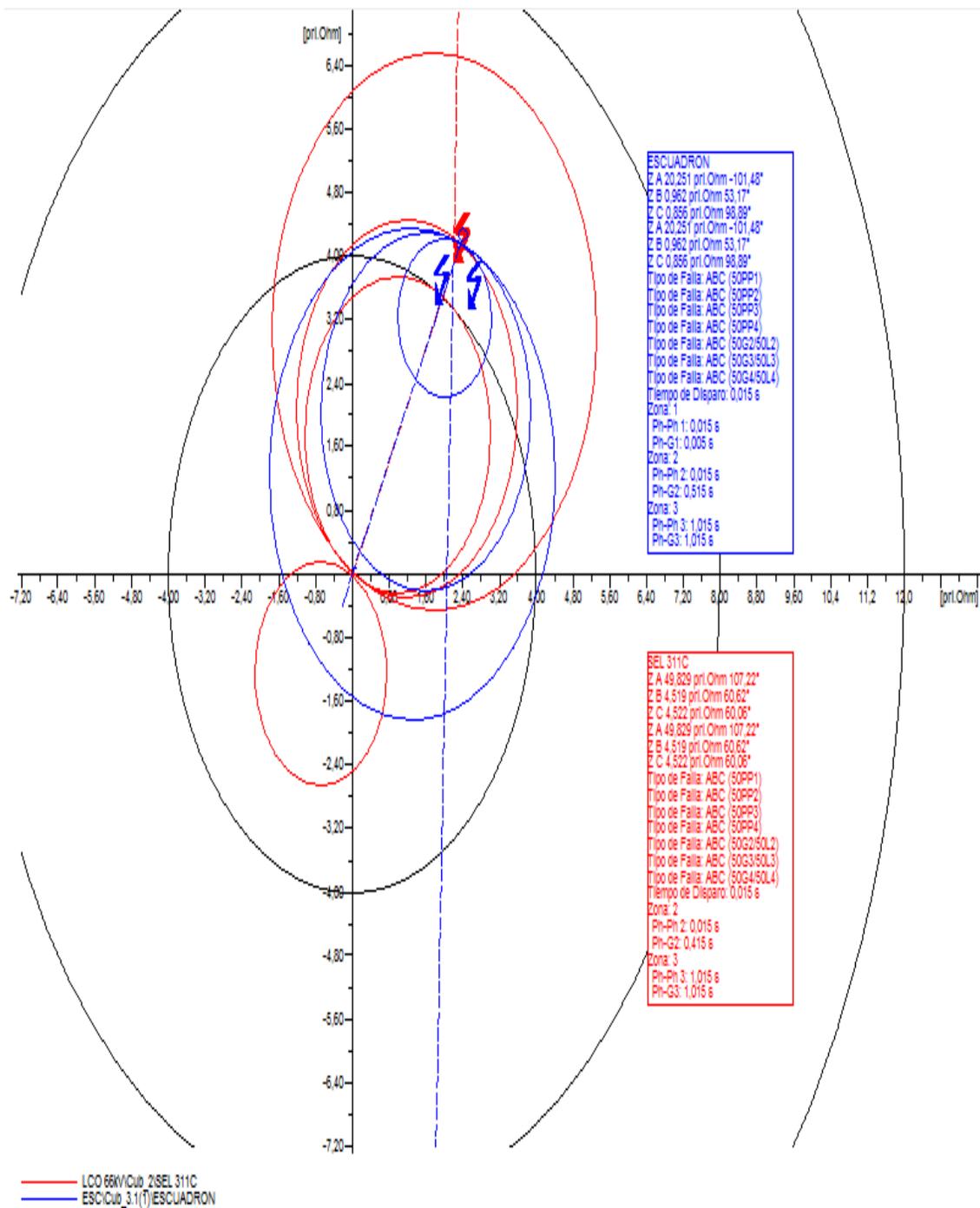


Figura B.68 Relé de distancia21/21N

Fallas monofásicas con impedancia de 25 Ω

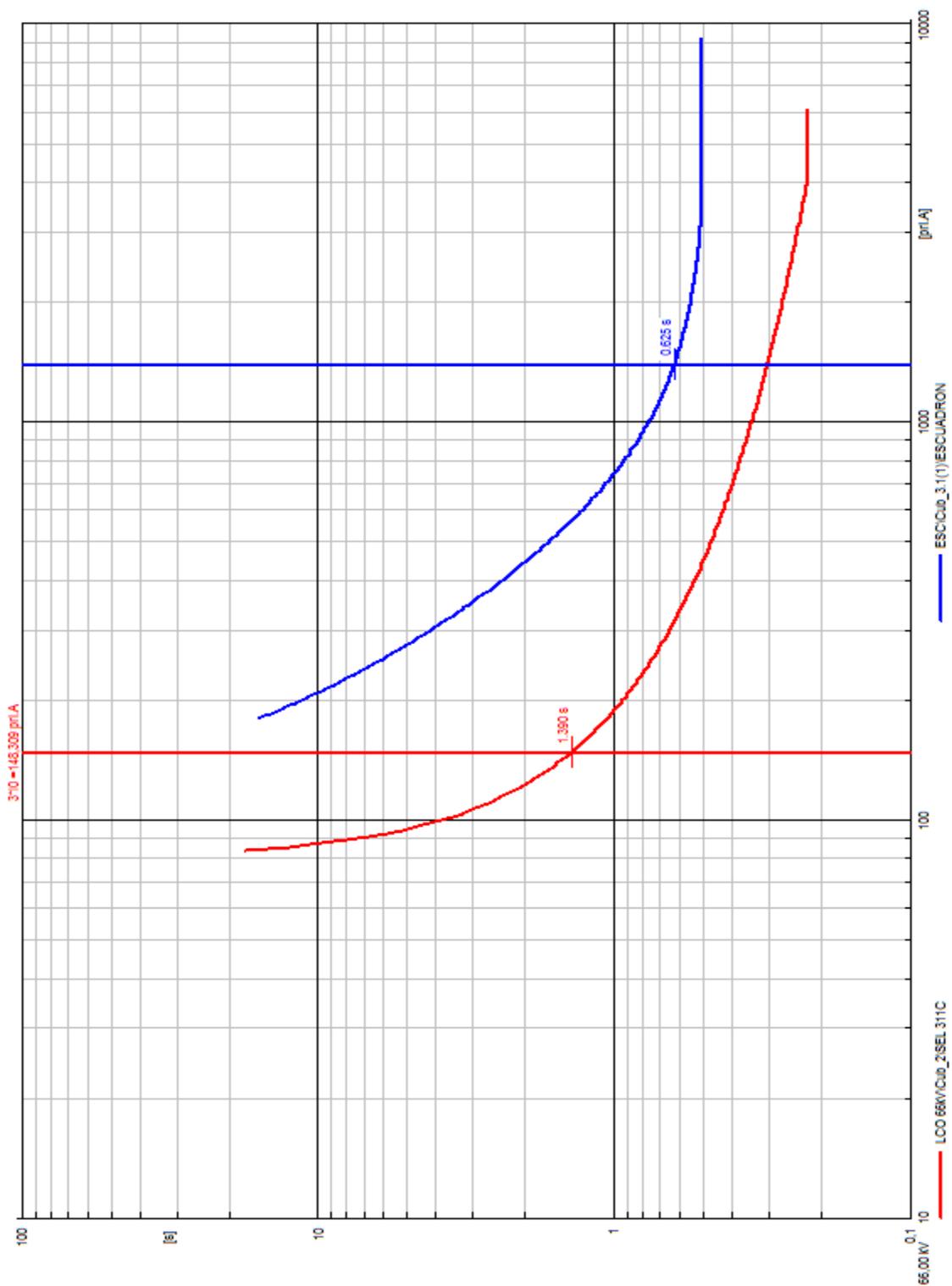


Figura B.69 Relé de sobrecorriente51/51N

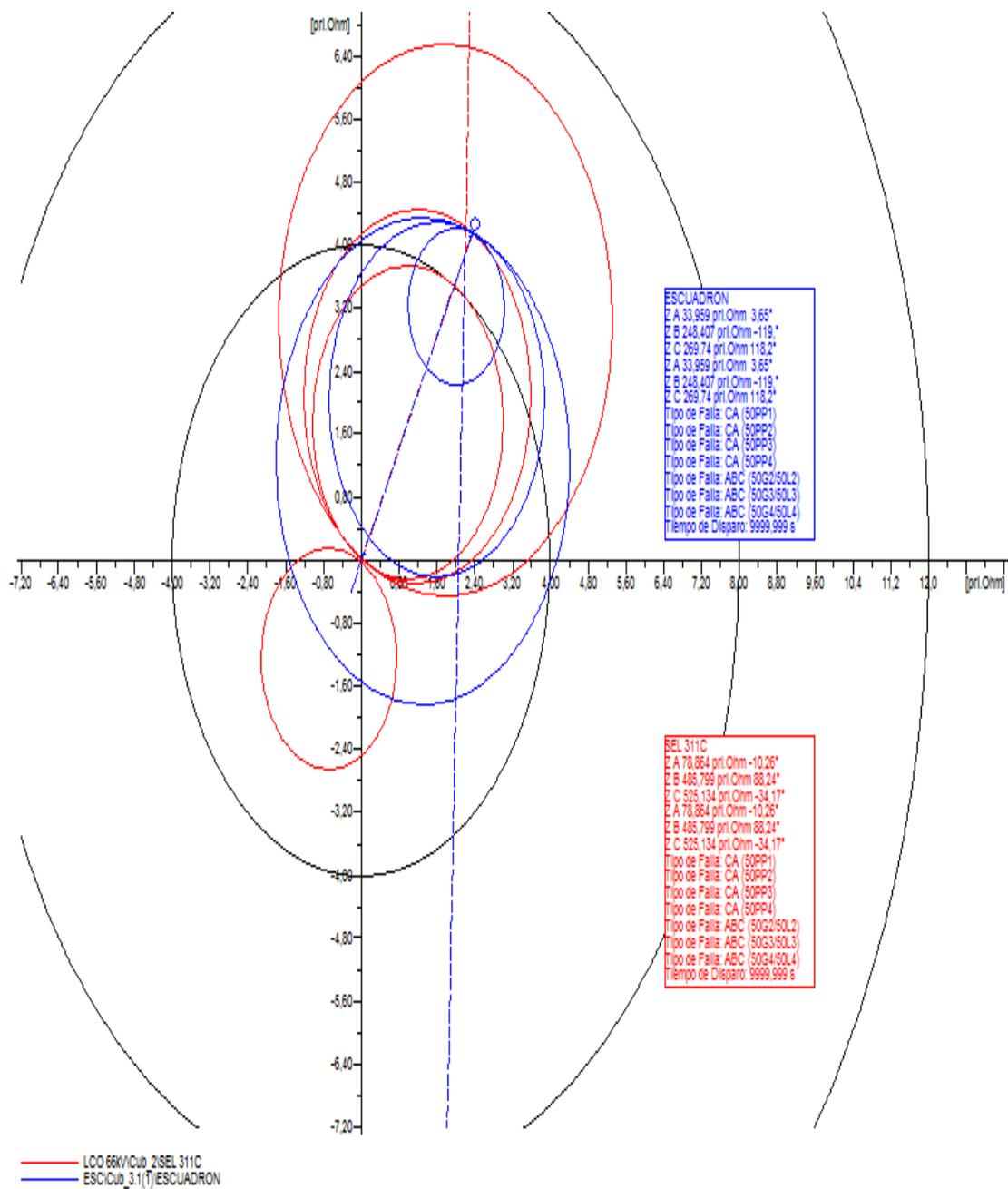


Figura B.70 Relé de distancia21/21N

Falla bifásica a tierra con impedancia de 25 Ω

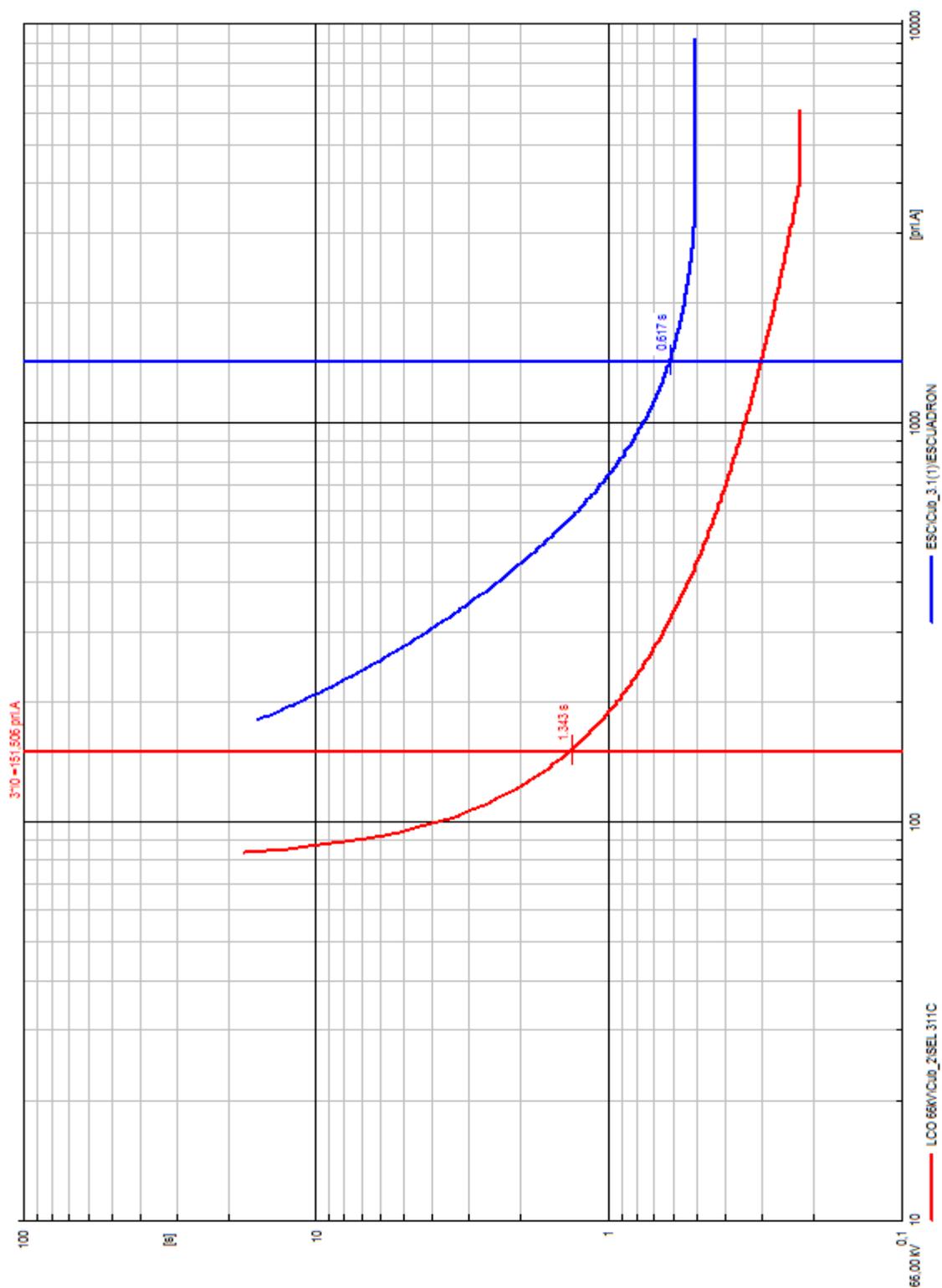


Figura B.71 Relé de sobrecorriente51/51N

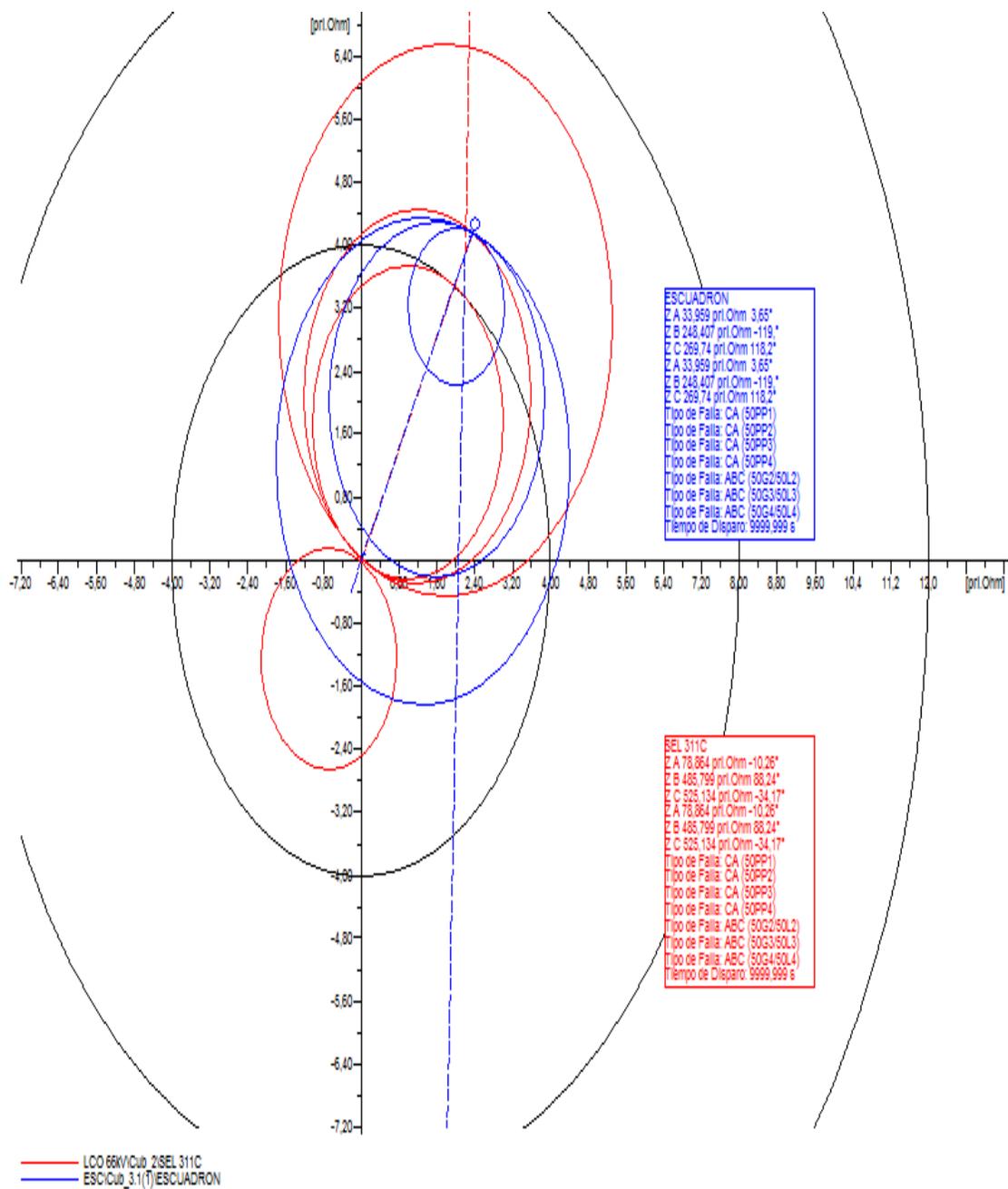


Figura B.72 Relé de distancia21/21N

## ANEXO C

### C.1- SEL- 311

Entre las características, el relé incluye un reconectador de cuatro disparos, una lógica patentada para los límites del transformador de voltaje capacitivo (CVT) para mejorar la seguridad de los elementos de distancia de la Zona 1, elementos de sobre corriente con control direccional, supervisión y medición. Aplicación de lógica de disparo de tres polos o selección del SEL-311C-2 para disparo de un solo polo. El SEL-311C incluye puertos seriales EIA-232, así como un puerto Ethernet BASE-T 10/100 para acceso local/remoto e integración del sistema. Se incluyen fasores sincronizados que cumplen con la norma IEEE C37.118 para mejorar el conocimiento situacional.

#### Descripción

- Protección completa de la línea:
 

Protege las líneas de transmisión usando una combinación de las cuatro zonas de distancia de paso de fase y los elementos de distancia de tierra en los esquemas asistidos de comunicaciones, con protección de respaldo de los elementos direccionales de sobre corriente. La lógica de limite transitoria patentada del transformador de voltaje de capacitancia (CVT) refuerza la seguridad de los elementos de distancia de la Zona 1. La lógica BestChoiceGroundDirectionalElement<sup>®</sup> optimiza el desempeño del elemento direccional y no requiere configuraciones direccionales.
- Supervisión y medición
 

Reportes de eventos, grabador secuencial de eventos (SER), monitor de desgaste de los contactos del interruptor de circuito, monitor de baterías de la subestación, mediciones instantáneas y de demanda, y tablero de pantalla local.

- **Medición de fasores sincronizados**  
Convierte la estimación de estado en medición de estado con la medición de área amplia de ángulos de fase y magnitudes de voltajes y corrientes. Mejore la estabilidad de sistema con mediciones de alta velocidad de ángulo de carga. Aumente la carga estable con el análisis de voltaje y la estabilidad angular.
- **Recierre:**  
Auto-recierre programable de cuatro disparos de interruptor con sincronismo y lógica de revisión de voltaje para un óptimo restablecimiento del sistema.
- **Comunicaciones:**  
Las comunicaciones seriales y Ethernet proporcionan acceso local y remoto e integración del sistema. El protocolo de comunicaciones **MIRRORED BITS®** para ocho canales de lógica segura de relé a relé están disponibles en los puertos seriales EIA-232. Aplique comunicaciones IEC 61850 opcionales para una integración flexible del sistema. Utilice el servidor integrado para explorar el SEL-311C para localizar datos de medidor, configuraciones e información de estado.

### **Aplicaciones**

- Proporción de una protección piloto completa para líneas de transmisión y subtransmisión.
- Programación de hasta cuatro disparos para el recierre automático de los interruptores, con verificaciones de sincronismo y voltaje para optimizar la restauración del sistema.
- Envío de datos de los fasores sincronizados a SCADA y los sistemas de mediciones de área amplia usando los mensajes IEEE C37.118 y FastMessages de SEL. Exactitud superior a uno por ciento del total de errores de vector y el tiempo al microsegundo de los reportes de eventos mejoran la visualización del sistema y el análisis de eventos. Utilice el software SYNCHROWAVE® servidor SEL-5077 o un concentrador de datos de fasor SEL-3373 para correlacionar en tiempo los datos de los fasores sincronizados desde los relés SEL-311 y enviarlos a sistemas de

despliegue y archivo. Utilización de la localización de fallas integrada del relé para realizar la inspección de la línea y enviar el personal de reparación con eficiencia.

- Programación de la lógica de falla del interruptor con las ecuaciones de control lógico SELOGIC®.
- Programación del mantenimiento de los interruptores de circuito y envío alarmas cuando el monitor del interruptor detecta exceso de desgaste en los contactos por el número de operaciones y la magnitud de la corriente interrumpida.
- Envío de alarmas ante condiciones de bajo voltaje en las baterías de la estación.
- Uso del [software ACSELERATOR TEAM® SEL-5045](#) para recolectar de manera automática los reportes de eventos de los relés en su PC y administrarlos con una base de datos.
- Uso del [software asistente analítico ACSELERATOR® SEL-5601](#) para mostrar oscilogramas y diagramas vectoriales para analizar los reportes de eventos.

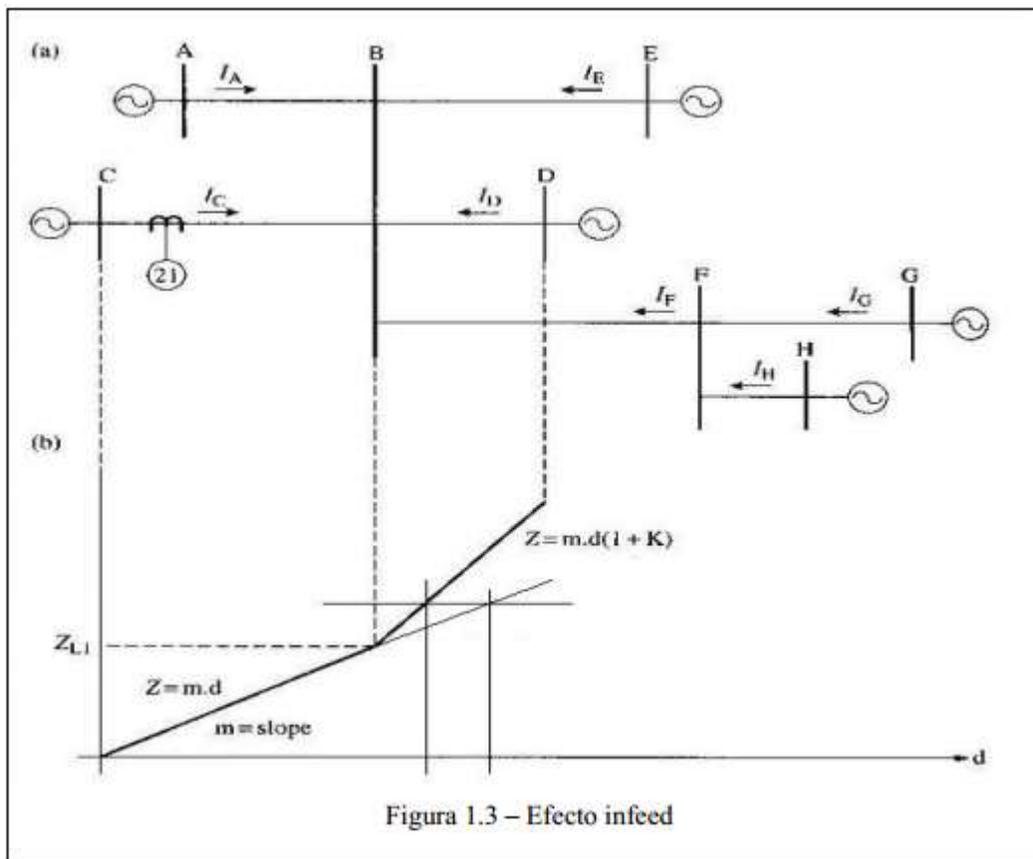
### **Opciones**

- Disparo de un solo polo con recierre de tres polos.
- Paquete de hardware para montaje en tablero vertical.
- Paquetes de hardware para montaje en tablero horizontal.
- Paquete de hardware para montaje en rack vertical.
- Puerto USB frontal.
- Puertos Ethernet duales - 10/100BASE-T y 100BASE-FX.
- Puerto EIA-485.
- Botones SafeLock® de disparo/cierre.
- Controles y LEDs objetivo programables de operador.
- Entradas adicionales y salidas estándar adicionales, salidas de interrupción de alta corriente o salidas de interrupción de alta velocidad y alta corriente.
- Protocolo de comunicaciones IEC 61850.
- Recubrimiento de protección: Proteja el equipo de ambientes hostiles y contaminantes del aire tales como sulfuro de hidrógeno, cloro, sal y humedad.

## ANEXO D

### D.1-INFEED

Cuando el sistema eléctrico tiene una configuración compleja donde se encuentran varias centrales interconectadas, las cuales constituyen alimentaciones a las fallas, se produce un efecto infeed como el que se muestra en la figura 2.1. El efecto infeed aumenta el valor de la impedancia vista por el relevador en la barra C para fallas más allá de la barra B, con lo cual el relevador ve las fallas más allá de su real ubicación.



Es necesario considerar las alternativas de configuración con y sin el efecto infeed para determinar los ajustes en las condiciones más desfavorables. Más aún, si se tiene un sistema con líneas paralelas, el efecto infeed puede ser variable según la ubicación de la falla, tal como se muestra en la figura 1.4. En este caso, el efecto infeed para la impedancia vista por el relé en la barra A depende la posición de la falla en la línea BC.

En las líneas de transmisión se debe simular fallas por lo menos 25%, 50% y 75% de la línea. En los casos en que se tiene efecto de infeed variable se debe simular las fallas al 10%, 20%, 30% de la línea, a fin de determinar las condiciones más desfavorables. Las simulaciones de fallas serán de los siguientes tipos:

- Fallas monofásicas a tierra sin resistencia de falla
- Fallas monofásicas a tierra con alta resistencia de falla
- Fallas bifásicas (fase-fase) con resistencia de falla
- Fallas trifásicas sin resistencia de falla