



UNIVERSIDAD DEL BIO-BÍO
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

**ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES
DE UNA PLANTA QUÍMICA EMPLEANDO
DIGSILENT**

AUTORES:

PEDRO ALBERTO FUENTES GONZÁLEZ
MIGUEL ANDRÉS MUÑOZ CÁRCAMO

**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

**ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES
DE UNA PLANTA QUÍMICA EMPLEANDO
DIGSILENT**

AUTORES:

PEDRO ALBERTO FUENTES GONZÁLEZ
MIGUEL ANDRÉS MUÑOZ CÁRCAMO

PROFESOR GUIA: JUAN CARLOS DELGADO NAVARRO
PROFESORES CORRECTORES: LUIS MUÑOZ SAEZ
: FABRICIO SALGADO DÍAZ

Índice

Resumen	1
CAPÍTULO 1	
LEVANTAMIENTO Y ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE LA RED ELÉCTRICA	2
1.1 Introducción	3
1.2 Descripción de la red eléctrica.....	3
1.3 Cálculo de parámetros de la red eléctrica	3
1.3.1 Empalme	3
1.3.2 Cálculo de parámetros de transformadores de dos devanados	5
1.3.3 Cálculo de Parámetros de los Transformadores de 3 devanados.....	8
1.3.4 Cálculo de Parámetros de Alimentadores	10
1.3.5 Tabla Resumen de Parámetros en Pu.....	14
CAPÍTULO 2	
ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO Y VERIFICACIÓN MEDIANTE SOFTWARE DIGSILENT	17
2.1 Introducción	18
2.2 Definición de Corto circuito	18
2.3 Descripción general del método de cálculo	19
2.4 Cálculo de corto circuito trifásico teórico	19
2.4.1 Cálculo de cortocircuito en Barra B01	19
2.4.2 Cálculo de cortocircuito en Barra B02	21
2.4.3 Cálculo de cortocircuito en el devanado primario del T3D1	22
2.4.4 Cálculo de cortocircuito en Barra B03	24
2.4.5 Cálculo de cortocircuito en Barra B05	25
2.4.6 Cálculo de cortocircuito en Barra B06	26
2.4.7 Cálculo de cortocircuito en el devanado primario del T3D2.....	28
2.4.8 Cálculo de cortocircuito en Barra B08	29
2.5 Cálculo de corto circuito trifásico con DIGSILENT	31
CAPÍTULO 3	
ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES MEDIANTE SOFTWARE DIGSILENT	33
3.1 Introducción	34
3.2 Relé de sobre corriente	34

3.3	Análisis de ajuste y coordinación de protecciones	35
3.3.1	Fundamentos.....	35
3.3.2	Análisis de operación del Relé 1	36
3.3.3	Análisis de operación del Relé 2	37
3.3.4	Propuesta de ajuste para Relé 2	39
3.3.5	Análisis de operación del Relé 3	41
3.3.6	Propuesta de ajuste para Relé 3	43
3.3.7	Análisis de operación del Relé 4	45
3.3.8	Análisis de operación del Relé 6	48
3.3.9	Análisis de operación del Relé 7	51
3.3.10	Análisis de operación del Relé 8	54
3.3.11	Propuesta de ajuste para Relé 8	56
3.3.12	Análisis de operación del Relé 9	58
3.3.13	Análisis de operación del Relé 10	61
3.3.14	Análisis de operación del Relé 11	64
3.4	Coordinación de protecciones.....	67
CAPITULO 4		
COMENTARIOS Y CONCLUSIONES		69
BIBLIOGRAFÍA		72
ANEXOS		74
ANEXO A: PARÁMETROS DE TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS		75
ANEXO B: PARÁMETROS DE ALIMENTADORES		77
ANEXO C: DESCRIPCIÓN DE RELÉ GE MULTILÍN SR750		80
ANEXO D: DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DE RELÉ SR750		90
ANEXO E: TRABAJO EN LABORATORIO CON RELÉ SR750		95

Resumen

En el presente seminario de título se desarrolla el estudio del sistema de protecciones de una planta química, orientado a proteger el funcionamiento de la red de media y alta tensión.

Para el desarrollo del estudio se utilizó como herramienta de apoyo el software POWER FACTORY DIGSILENT, mediante el cual se verifica la coordinación de ajuste de las protecciones incorporadas en el sistema eléctrico.

Para la protección del sistema eléctrico se utilizan relés General Electric (GE), del modelo SR 750, utilizados usualmente en aplicaciones industriales para protección de alimentadores.

En el primer capítulo de este seminario, se describe el cálculo de los parámetros de cada uno de los elementos que componen la red eléctrica en estudio, esto es el Enpalme, transformadores trifásicos de dos y tres devanados y alimentadores.

En el segundo capítulo, se presenta el cálculo de corto circuito. En tal sentido, para los propósitos del presente seminario, sólo se analizan los cortos circuitos trifásicos.

En el tercer capítulo, se analizan los ajustes y programación de los relés involucrados, considerando para ello la utilización del software POWER FACTORY DIGSILENT.

CAPÍTULO 1
LEVANTAMIENTO Y ESTIMACIÓN
DE PARÁMETROS DE LA RED
ELÉCTRICA

1.1 Introducción

En este capítulo se realiza un estudio de la red eléctrica, estimando los parámetros de cada uno de los elementos que componen el sistema eléctrico.

Para los cálculos se emplean valores en tanto por uno (pu), en base de 10 MVA y voltajes base definidos por los voltajes nominales de la red eléctrica.

1.2 Descripción de la red eléctrica

El diagrama unilineal de la red en estudio se presenta en la figura 1.1. En tal sentido, el empalme posee una potencia de 1700 MVA trifásicos, con una frecuencia de 50 Hz en un voltaje de 154 kV. Desde la barra principal en 154 kV, se alimentan dos transformadores de 12 MVA y 10 MVA, estableciendo una tensión de distribución en 13,8 kV vía dos barras principales.

Desde cada barra en 13,8 kV, se alimentan transformadores de proceso con tensión secundaria de 0,4 kV y transformadores de 3 devanados para suministrar energía a un rectificador que proporciona una tensión de 105 V DC.

1.3 Cálculo de parámetros de la red eléctrica

Con referencia al diagrama unilineal de la figura 1.1, considerando la información técnica del anexo A, a continuación se realiza el cálculo de parámetros en (pu) de los distintos componentes de la red eléctrica. Cabe destacar que puesto que los alcances del presente seminario abarcan únicamente la falla trifásica, se determinan sólo las impedancias de secuencia positiva.

1.3.1 Empalme

Al considerar la información proporcionada por la empresa. En la tabla 1.1 se presentan los datos más relevantes del empalme.

Tabla 1.1: Datos del Empalme

Tensión	Potencia de Cortocircuito Trifásico	
kV	MVA	X/R
154	1700	15

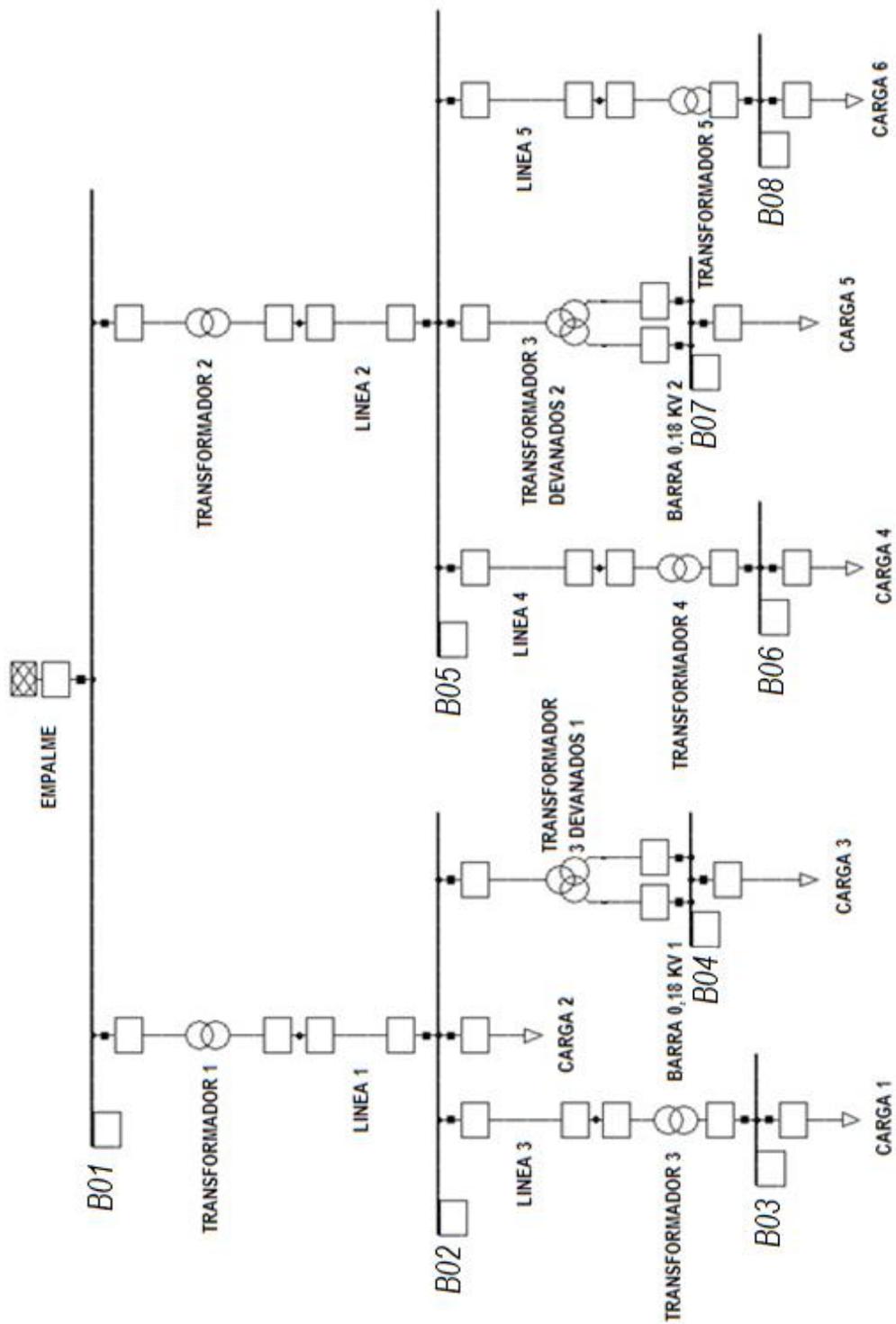


Figura 1.1: Diagrama unilineal del sistema eléctrico.

Considerando la potencia base de 10 MVA, la impedancia de secuencia positiva aguas arriba del empalme resulta ser:

$$Z_{sep}pu = \frac{S_{Base}}{S_{coci\ 3\phi}} \quad (1.1)$$

Reemplazando:

$$Z_{sep}pu = \frac{10}{1700} = 0,005882 \text{ (pu)}$$

Por otro lado, al considerar la relación X/R para falla trifásica, se tiene:

$$Z_1pu = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{1 + \left(\frac{X}{R}\right)^2} * R_1 \quad (1.2)$$

Luego,

$$R_1 = \frac{Z_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{X}{R}\right)^2}} \quad (1.3)$$

Reemplazando los datos de las fórmula 1.3, se tiene:

$$R_1 = \frac{0,005882}{\sqrt{1 + (15)^2}} = 0,0003913 \text{ (pu)}$$

Por tanto, la impedancia de secuencia positiva del empalme resulta ser:

$$Z_1 = 0,0003913 + j0,005882 \text{ (pu)}$$

1.3.2 Cálculo de parámetros de transformadores de dos devanados

Considerando la información de placa de los transformadores, en la Tabla 1.2, se resumen los datos característicos de cada uno de los cinco transformadores existentes en la red eléctrica.

En tal sentido para la determinación de la relación X/R de transformadores, se utiliza la información técnica proporcionada en el anexo A.

Tabla 1.2: Datos de los Transformadores de dos Devanados

Designación	Potencia [MVA]	Tensión [kV]		Impedancia Z [%]	Relación X/R
		Primario	Secundario		
T1	12	154	13,8	8	18
T2	10	154	13,8	12	18
T3	1,2	13,8	0,4	8	6
T4	1,6	13,8	0,4	10	6.5
T5	2	13,8	0,4	12	7

Así dado el transformador 1, la impedancia en pu resulta ser:

$$Z_{T1} = 0,08 \text{ (pu)}$$

Considerando la relación X/R, al emplear (1.3) se tiene:

$$R_{T1} = \frac{0,08}{\sqrt{1 + (18)^2}} = 0,004438 \text{ (pu)}$$

Luego:

$$Z_{T1} = 0,004438 + j0,08 \text{ (pu)}$$

Realizando el cambio de base, se tiene:

$$Z_{T1} = (0,004438 + j0,08) * \left(\frac{10}{12}\right) = 0,003698 + j0,06667 \text{ (pu)}$$

Para el transformador 2, la impedancia en pu resulta ser:

$$Z_{T1} = 0,12 \text{ (pu)}$$

Considerando la relación X/R, se tiene

$$R_{T2} = \frac{0,12}{\sqrt{1 + (18)^2}} = 0,006656 \text{ (pu)}$$

Luego:

$$Z_{T2} = 0,006656 + j0,12 \text{ (pu)}$$

Realizando el cambio de base, se tiene:

$$Z_{T2} = (0,006656 + j0,12) * \left(\frac{10}{10}\right) = 0,006656 + j0,12 \text{ (pu)}$$

En relación con el transformador 3, la impedancia en pu resulta ser:

$$Z_{T3} = 0,08 \text{ (pu)}$$

Considerando la relación X/R, se tiene:

$$R_{T3} = \frac{0,12}{\sqrt{1 + (6)^2}} = 0,01315 \text{ (pu)}$$

Luego:

$$Z_{T3} = 0,01315 + j0,08 \text{ (pu)}$$

Realizando el cambio de base, se tiene:

$$Z_{T3} = (0,01315 + j0,08) * \left(\frac{10}{1,2}\right) = 0,1096 + j0,6667 \text{ (pu)}$$

Al considerar el transformador 4, la impedancia en pu resulta ser:

$$Z_{T4} = 0,1 \text{ (pu)}$$

Considerando la relación X/R, se tiene

$$R_{T4} = \frac{0,1}{\sqrt{1 + (6,5)^2}} = 0,0152 \text{ (pu)}$$

Luego:

$$Z_{T4} = 0,0152 + j0,1 \text{ (pu)}$$

Realizando el cambio de base, se tiene:

$$Z_{T4} = (0,0152 + j0,1) * \left(\frac{10}{1,6}\right) = 0,095 + j0,625 \text{ (pu)}$$

Finalmente, respecto del transformador 5, la impedancia en pu resulta ser:

$$Z_{T5} = 0,12 \text{ (pu)}$$

Considerando la relación X/R, se tiene

$$R_{T5} = \frac{0,12}{\sqrt{1 + (7)^2}} = 0,01697 \text{ (pu)}$$

Luego:

$$Z_{T5} = 0,01697 + j0,12 \text{ (pu)}$$

Realizando el cambio de base, se tiene:

$$Z_{T5} = (0,01697 + j0,12) * \left(\frac{10}{2}\right) = 0,08485 + j0,6 \text{ (pu)}$$

1.3.3 Cálculo de Parámetros de los Transformadores de 3 devanados

Considerando la información de placa de los transformadores, en la Tabla 1.3, se resumen los datos característicos de los dos transformadores de 3 devanados existentes en la red eléctrica.

Tabla 1.3: Datos de los Transformadores de tres Devanados

Designación	Potencia [MVA]	Tensión [kV]			Impedancia [%]		
		P	S	T	PS	PT	TS
T3D1	5	13,8	0,18	0,18	12	10	8
T3D2	7	13,8	0,18	0,18	12	10	8

Así para el transformador de tres enrollados N°1 las reactancias en pu vienen dadas por:

$$X_{ps} = 0,12 \text{ pu}$$

$$X_{pt} = 0,1 \text{ pu}$$

$$X_{ts} = 0,08 \text{ pu}$$

Realizando el cambio de base, se tiene:

$$X_{ps} = 0,12 * \left(\frac{10}{5}\right) = 0,24 \text{ (pu)}$$

$$X_{pt} = 0,10 * \left(\frac{10}{5}\right) = 0,2 \text{ (pu)}$$

$$X_{ts} = 0,08 * \left(\frac{10}{5}\right) = 0,16 \text{ (pu)}$$

Al emplear un modelo estrella del transformador, el cálculo de reactancias de este modelo viene dado por:

$$X_p = \frac{1}{2}(X_{ps} + X_{pt} - X_{ts}) \quad (1.4)$$

$$X_s = \frac{1}{2}(X_{ps} + X_{ts} - X_{pt}) \quad (1.5)$$

$$X_t = \frac{1}{2}(X_{ts} + X_{pt} - X_{ps}) \quad (1.6)$$

Reemplazando, se obtiene

$$X_p = 0,14 \text{ (pu)}$$

$$X_s = 0,1 \text{ (pu)}$$

$$X_t = 0,06 \text{ (pu)}$$

Para el transformador de tres devanados N°2 las impedancias en pu resultan ser

$$X_{ps} = 0,12 \text{ (pu)}$$

$$X_{pt} = 0,1 \text{ (pu)}$$

$$X_{ts} = 0,08 \text{ (pu)}$$

Realizando el cambio de base, se tiene:

$$X_{ps} = 0,12 * \left(\frac{10}{7}\right) = 0,1714 \text{ (pu)}$$

$$X_{pt} = 0,10 * \left(\frac{10}{7}\right) = 0,1429 \text{ (pu)}$$

$$X_{ts} = 0,08 * \left(\frac{10}{7}\right) = 0,1143 \text{ (pu)}$$

Empleando las relaciones (1.4) a (1.6), se obtiene:

$$X_p = 0,1 \text{ (pu)}$$

$$X_s = 0,0714 \text{ (pu)}$$

$$X_t = 0,0429 \text{ (pu)}$$

1.3.4 Cálculo de Parámetros de Alimentadores

Considerando la información de la red eléctrica, en la Tabla 1.4, se resumen los datos característicos de los alimentadores existentes en la red eléctrica.

Tabla 1.4: Datos de Alimentadores en ducto no magnético

Designación	Calibre [AWG]	Longitud [km]	N° de conductores por fase
L1	500 MCM	0,165	2
L2	500 MCM	0,112	2
L3	4/0	0,110	1
L4	4/0	0,118	1
L5	4/0	0,195	1

Dónde:

R_{cc} : Resistencia a 20°C en corriente continúa

ρ : Resistividad del conductor

l : Longitud del conductor

s : Sección del conductor

Y_s : Incremento de la resistencia debido al efecto piel

Y_p : Incremento de la resistencia debido al efecto de proximidad

α : Coeficiente de variación de resistencia específica por temperatura del conductor en °C-1

Considerando la información del Anexo B, se dispone de la reactancia inductiva del conductor. Así, para determinar la resistencia se tiene:

$$R_{cc}20^{\circ}C = \frac{\rho * l}{s} (\Omega/m) \quad (1.7)$$

$$R_{ca}90^{\circ}C = R_{cc} * (1 + Y_s + Y_p) * [1 + \alpha(90^{\circ} - 20^{\circ})] (\Omega/m) \quad (1.8)$$

Al considerar el conductor de sección 500 MCM, la resistencia a 20°C viene dada por:

$$R_{cc}20^{\circ}C = \frac{0,018}{253} = 0,0712 (\Omega/km)$$

Luego a 90°C se tiene:

$$R_{Ca} 90^{\circ}C = 0,0712 * (1 + 0,02) * (1 + 0,00392(90^{\circ} - 20^{\circ})) = 0,0924 (\Omega/km)$$

Por lo tanto, dado que la reactancia es de 0,122 Ω/km (ver en Anexo B) la reactancia de un alimentador trifásico formado, formado por tres conductores monopolares en contacto directo, resulta ser:

$$Z_{500MCM} = 0,0924 + j0,122 (\Omega/km)$$

Considerando para el caso en estudio, la presencia de dos conductores por fase, la impedancia resultará ser:

Alimentador 500 MCM:

El valor de la reactancia inductiva obtenida de la tabla del anexo B.1, resulta ser 0,122 (Ω/km), mediante el cálculo del radio medio geométrico (RMG), se obtendrá el valor de la reactancia total del alimentador 500 MCM, el cual posee dos conductores por fase. A continuación se detallan los procedimientos realizados.

Parámetros obtenidos de tablas normalizadas.

Sección alimentador: 500 MCM

Reactancia alimentador (X): 0,122 (Ω/km)

Diámetro externo del alimentador:

Radio medio geométrico del conductor:

K: constante

$$X = k * \log * \frac{d}{RMG_H}$$

$$0,122 = k * \log * \frac{37,4}{7,95}$$

$$K=0,1815$$

Luego, el radio medio geométrico del conductor resulta ser:

RMG_H : Radio medio geométrico de la Hebra

D: distancia entre conductores

$$RMG_H = \sqrt{RMG * D}$$

$$RMG_H = \sqrt{7,95 * 37,4} = 17,24 \text{ (mm)}$$

$$X = 0,1815 * \log * \frac{37,4}{17,24} = 0,06104 \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

NOTA: Para el cálculo de los conductores en paralelo, se utilizara un método aproximado.

$$Z_{500MCM} = \frac{0,0924 + j0,122}{2} = 0,0462 + j0,061 \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

Por lo tanto la impedancia del alimentador L1, con calibre 500MCM (253mm²) y 165 metros de largo, resulta ser:

$$Z_{L1}(pu) = \frac{0,0462 + j0,061}{\frac{13,8^2}{10}} * 0,165 = 0,0004 + j0,0005 \text{ (pu)}$$

Por otro lado la impedancia del alimentador L2, con calibre 500MCM (253mm²) y 112 metros de largo, resulta ser:

$$Z_{L2}(pu) = Z_{L1}(pu) = \frac{0,0462 + j0,061}{\frac{13,8^2}{10}} * 0,112 = 0,0003 + j0,0004 \text{ (pu)}$$

En relación con los conductores de calibre 4/0 AWG (107,2mm²), la resistencia a 20°C viene dada por:

$$R_{cc}20^\circ C = \frac{0,018}{107,2} = 0,1679 \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

Luego a 90°C se tiene:

$$R_{Ca} 90^{\circ}C = 0,01847 * (1 + 0,02) * (1 + 0,00392(90^{\circ} - 20^{\circ})) = 0,2183(\Omega/km)$$

Por otro lado la reactancia es de 0,138 Ω/km (ver en Anexo B) y la impedancia de un conductor de cobre, con calibre 4/0 AWG (107,2mm²) resulta ser:

$$Z_{4/0} = 0,2183 + j0,138 (\Omega/km)$$

Al considerar la impedancia del alimentador L3, con calibre 4/0AWG (107,2mm²) y 110 metros de largo, resulta ser:

$$Z_{L3}(pu) = \frac{0,2183 + j0,138}{\frac{13,8^2}{10}} * 0,110 = 0,0013 + j0,0008 (pu)$$

Para la impedancia del alimentador L4, con calibre 4/0AWG (107,2mm²) y 118 metros de largo, resulta ser:

$$Z_{L4}(pu) = \frac{0,2183 + j0,138}{\frac{13,8^2}{10}} * 0,118 = 0,0014 + j0,0009 (pu)$$

Finalmente la impedancia del alimentador L5, con calibre 4/0AWG (107,2mm²) y 195 metros de largo, resulta ser:

$$Z_{L5}(pu) = \frac{0,2183 + j0,138}{\frac{13,8^2}{10}} * 0,195 = 0,0022 + j0,0014 (pu)$$

1.3.5 Tabla Resumen de Parámetros en Pu

Realizados los cálculos de parámetros en pu de los diferentes componentes de la red eléctrica, en la tabla 1.4 se resumen los valores de impedancia en pu.

Tabla 1.4: Tabla Resumen de Parámetros en Pu de la Red Eléctrica

Designación	Descripción	Impedancia en (pu)
Z_E	Empalme	$0.0004 + j0.0059$
Z_{T1}	Transformador de dos devanados 1	$0.0037 + j0.0667$
Z_{T2}	Transformador de dos devanados 2	$0.0067 + j0.12$
Z_{T3}	Transformador de dos devanados 3	$0.1096 + j0.6667$
Z_{T4}	Transformador de dos devanados 4	$0.095 + j0.625$
Z_{T5}	Transformador de dos devanados 5	$0.0849 + j0.6$
Z_{T3D1}	Transformador de tres devanados 1	$0.14/0.1/0.06$
Z_{T3D2}	Transformador de tres devanados 2	$0.1/0.0714/0.0429$
Z_{L1}	Alimentador 1	$0,0004 + j0,0005$
Z_{L2}	Alimentador 2	$0,0003 + j0,0004$
Z_{L3}	Alimentador 3	$0,0013 + j0,0008$
Z_{L4}	Alimentador 4	$0,0014 + j0,0008$
Z_{L5}	Alimentador 5	$0,0022 + j0,0014$

Realizado el cálculo de parámetros, es posible confeccionar el diagrama de impedancias el cual se presenta en la figura 1.2.

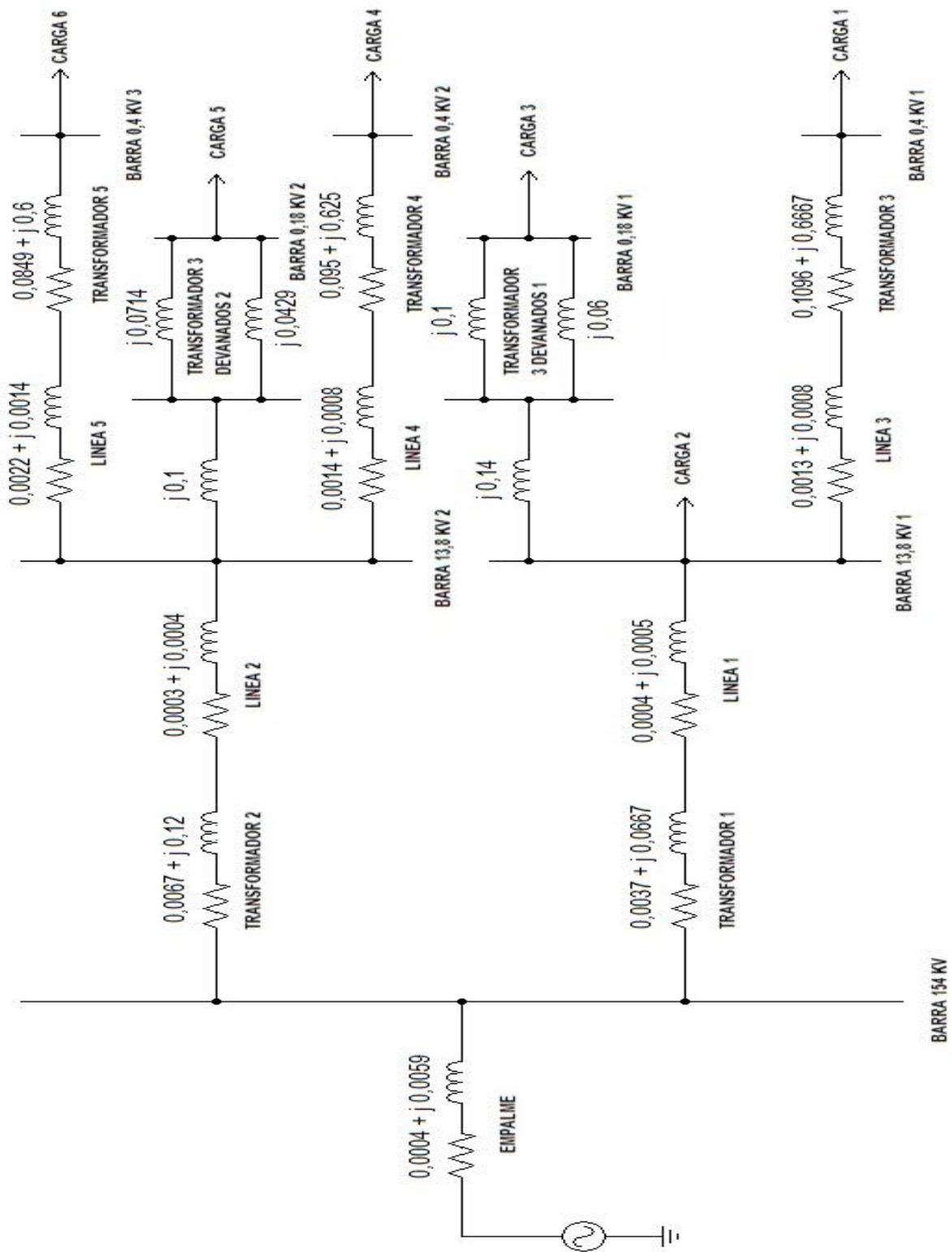


Figura 1.2: Diagrama unilineal de impedancias.

CAPÍTULO 2
ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO Y
VERIFICACIÓN MEDIANTE
SOFTWARE DIGSILENT

2.1 Introducción

En este capítulo se presenta el estudio de corto circuito trifásico de la red eléctrica, para lo cual se emplea el software Power Factory Digsilent y el cálculo teórico basado en el método E/X. En tal sentido, se realiza una comparación entre estos dos cálculos.

2.2 Definición de cortocircuito

Es una conexión entre dos puntos entre los que existe una diferencia de potencial, dando lugar a una corriente de intensidad elevada en comparación a la corriente normal que circula por el sistema eléctrico. La magnitud de la corriente de corto circuito es independiente de la carga, y sólo responde a las características del sistema de alimentación y distribución.

Los cortos circuitos se producen normalmente por:

- Pérdidas de propiedades aislantes del medio (envejecimiento, calentamiento, contaminación).
- Efectos mecánicos (roturas, deformaciones, desplazamientos).
- Sobretensiones (tanto de origen interno como externo).

Los principales efectos de un cortocircuito pueden ser:

- Calentamiento de conductores (Efecto joule), que según el valor y duración de la corriente de falla puede provocar daños irreversibles.
- Esfuerzos electrodinámicos, con la posibilidad de roturas y desplazamientos bruscos que pueden dar lugar a nuevas fallas.
- Variaciones de tensión, con caídas en las fases involucradas en el cortocircuito y eventuales elevaciones en las otras fases.

2.3 Descripción general del método de cálculo

El cálculo de cortocircuito, se sustenta en considerar un equivalente de Thevenin en el punto de falla, reemplazando todas las fuentes de voltaje externas. Todas las máquinas se representan por sus impedancias internas. La reactancia capacitiva de las líneas junto con cargas estáticas no se considera. Se asume que la falla es franca, por consiguiente, no se considera la resistencia del arco.

2.4 Cálculo de cortocircuito trifásico teórico

Considerando lo descrito en el punto 2.3, la corriente de cortocircuito trifásica en una barra resulta ser

$$I_{f3\phi} = \frac{1}{Z_{eq}} * I_b * \frac{I_s}{I_p} \quad (2.1)$$

Por otro lado, al considerar la información proporcionada por el software Digsilent, se definen las siguientes magnitudes:

Isym_m: Corriente simétrica momentánea (kA)

Isym_i: Corriente simétrica de interrupción (kA)

Isym_30: Corriente simétrica de 30 ciclos (kA)

2.4.1 Cálculo de cortocircuito en Barra B01

Para el cálculo de cortocircuito en barra B01, con referencia al diagrama de impedancias de la figura 1.2, es posible confeccionar una red de impedancia simplificada (ver figura 2.1), a través de la cual se obtiene que la impedancia equivalente en pu resulta ser $0,0059 \angle 86,12^\circ$ (pu), esto es:

$$Z_{Eq} = Z_E = 0,0004 + j0,0059 = 0,0059 \angle 86,12^\circ \text{ (pu)}$$

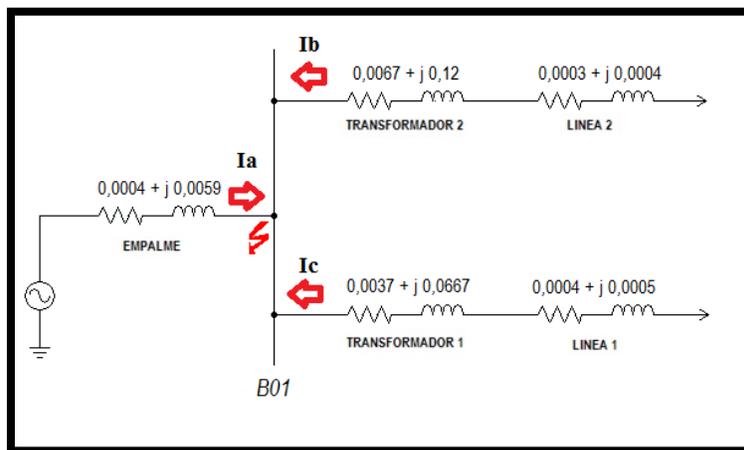


Figura 2.1: Diagrama unilineal de impedancias para falla en barra B01.

Considerando que el aporte de I_b e I_c son nulos por tratarse de cargas pasivas, la corriente de falla para la barra B01 resulta ser:

$$I_{f4-3\phi} = \frac{1}{Z_E} * 37,49 = 6.354,24 \angle - 86,12^\circ$$

Con referencia a la falla en la barra B01, en la figura 2.2 se muestra el diagrama de la red eléctrica analizada mediante el software Digsilent, en donde se identifica la corriente de falla de la barra B01 y los aportes a ésta, verificando la coincidencia de resultados de ambos métodos.

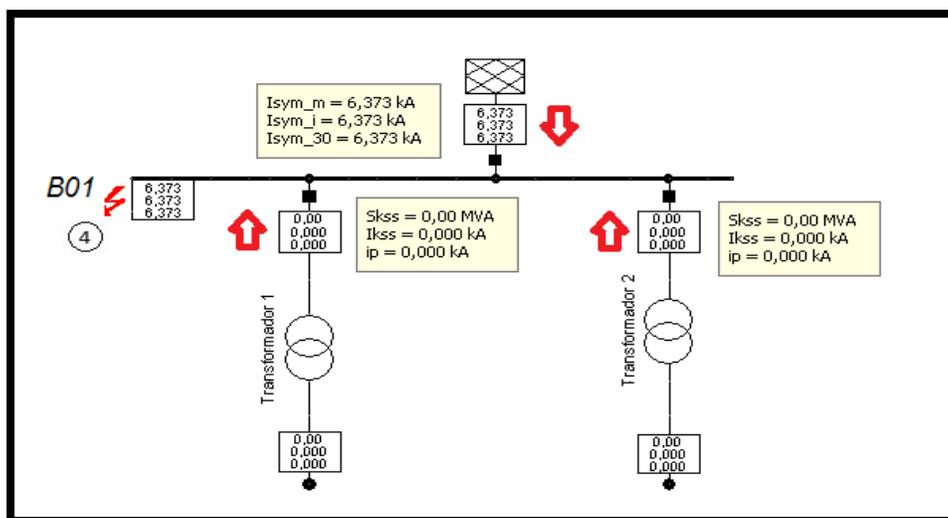


Figura 2.2: Diagrama unilineal en DIGSILENT para falla en barra B01.

2.4.2 Cálculo de cortocircuito en Barra B02

Para el cálculo de cortocircuito en barra B02, con referencia al diagrama de impedancias de la figura 1.2, es posible confeccionar una red de impedancia simplificada (ver figura 2.3), a través de la cual se obtiene que la impedancia equivalente en pu resulta ser $0,0732\angle 86,47^\circ$ (pu), esto es:

$$Z_{Eq} = Z_E + Z_{T1} + Z_{L1} = 0,0045 + j0,0731 = 0,0732\angle 86,47^\circ \text{ (pu)}$$

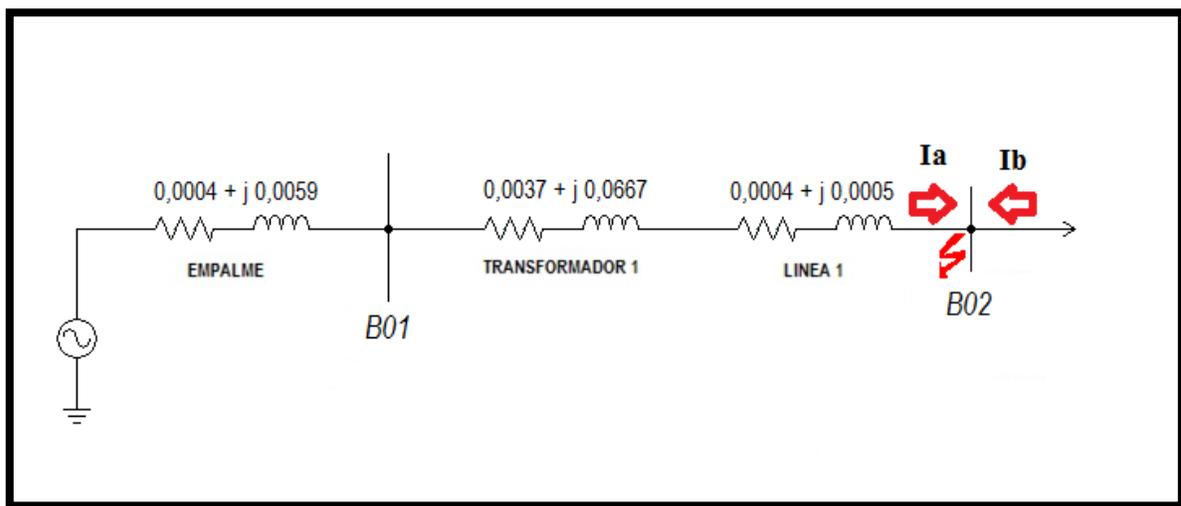


Figura 2.3: Diagrama unilineal de impedancias para falla en barra B02.

Considerando que el aporte de I_b es nulo por tratarse de una carga pasiva, la corriente de falla para la barra B02 resulta ser:

$$I_{f2-3\phi} = \frac{1}{Z_E + Z_{T1} + Z_{L1}} * 418,37 = 5715,44\angle - 86,47$$

Con referencia a la falla en la barra B02, en la figura 2.4, se muestra el diagrama de la red eléctrica analizada mediante el software Digsilent, en donde se identifica la corriente de falla en la barra B02 y los aportes a esta, verificando la coincidencia de los resultados en ambos cálculos.

Considerando que el aporte de I_b es nulo por tratarse de una carga pasiva, la corriente de falla en el devanado primario del T3D1 resulta ser:

$$I_{f3-3\phi} = \frac{1}{Z_E + Z_{T1} + Z_{L1}} * 418,37 = 5715,44 \angle - 86,47$$

Con referencia a la falla en devanado primario del T3D1, en la figura 2.6 se muestra el diagrama de la red eléctrica analizada mediante el software Digsilent, en donde se identifica la corriente de falla en el devanado primario del T3D1 y los aportes a esta.

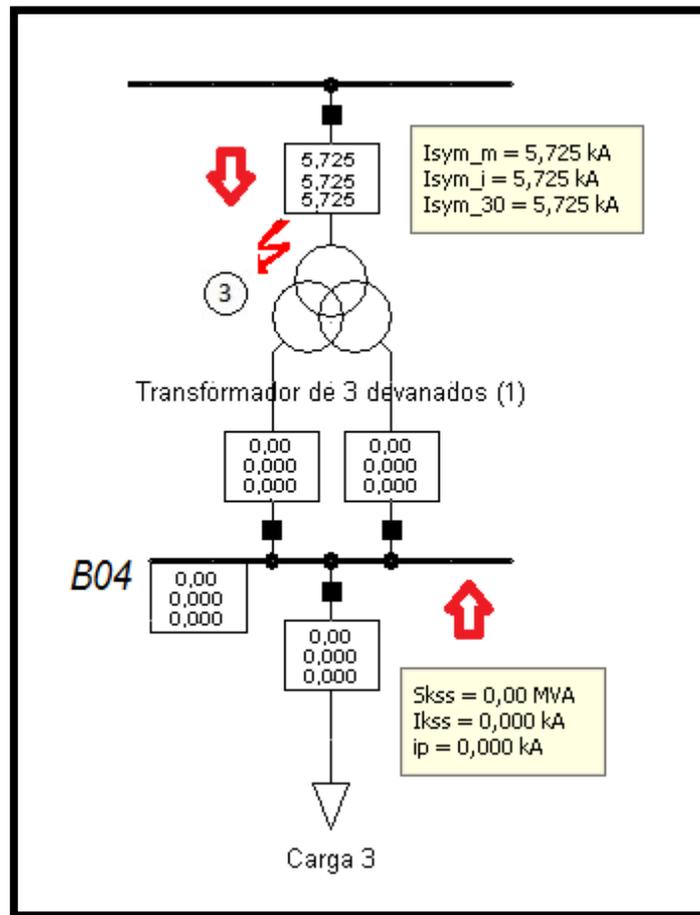


Figura 2.6: Diagrama unilineal en DIGSILENT para falla en devanado primario de T3D1.

La comparación de las magnitudes de las corrientes de cortocircuito, permite comprobar la coincidencia de los resultados obtenidos por ambos métodos.

2.4.4 Cálculo de cortocircuito en Barra B03

Para el cálculo de cortocircuito en barra B03, con referencia al diagrama de impedancias de la figura 1.2, es posible confeccionar una red de impedancia simplificada (ver figura 2.7), a través de la cual se obtiene que la impedancia equivalente en pu resulta ser $0,7495 \angle -81,14^\circ$ (pu), esto es:

$$Z_{Eq} = Z_E + Z_{T1} + Z_{L1} + Z_{T3} + Z_{L3} = 0,1154 + j0,7406 = 0,7495 \angle 81,14^\circ \text{ (pu)}$$

Considerando que el aporte de I_b es nulo por tratarse de una carga pasiva, la corriente de falla para la barra B03 resulta ser:

$$I_{f1-3\phi} = \frac{1}{Z_E + Z_{T1} + Z_{L1} + Z_{T3} + Z_{L3}} * 418,37 = 558,19 \angle 81,14^\circ$$

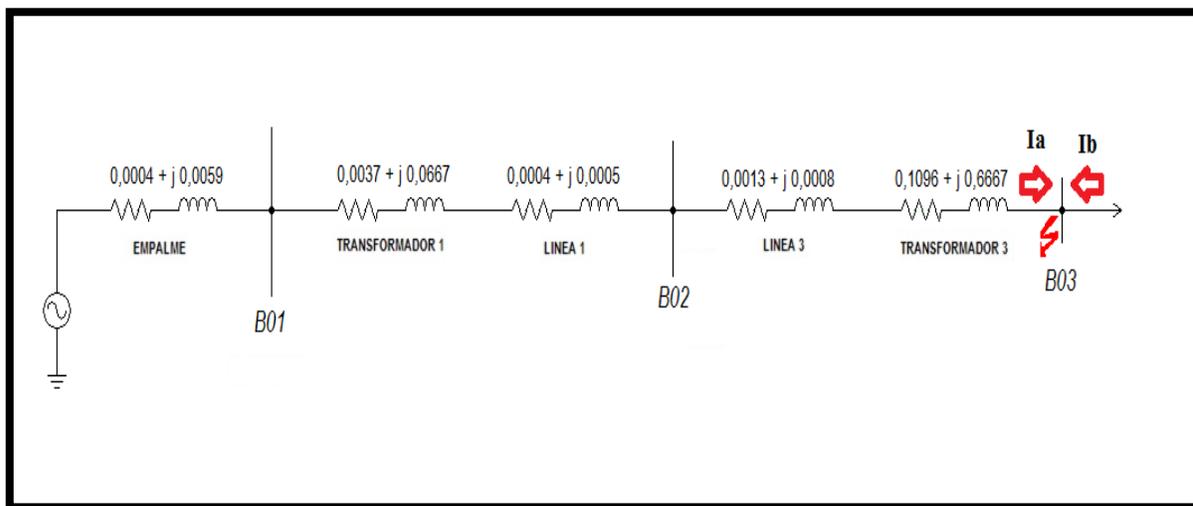


Figura 2.7: Diagrama unilineal de impedancias para falla en barra B03.

Con referencia a la falla en la barra B03, en la figura 2.8 se muestra el diagrama de la red eléctrica analizada mediante el software Digsilent, en donde se identifica la corriente de falla en la barra B03 y los aportes a esta, verificando la coincidencia en ambos cálculos.

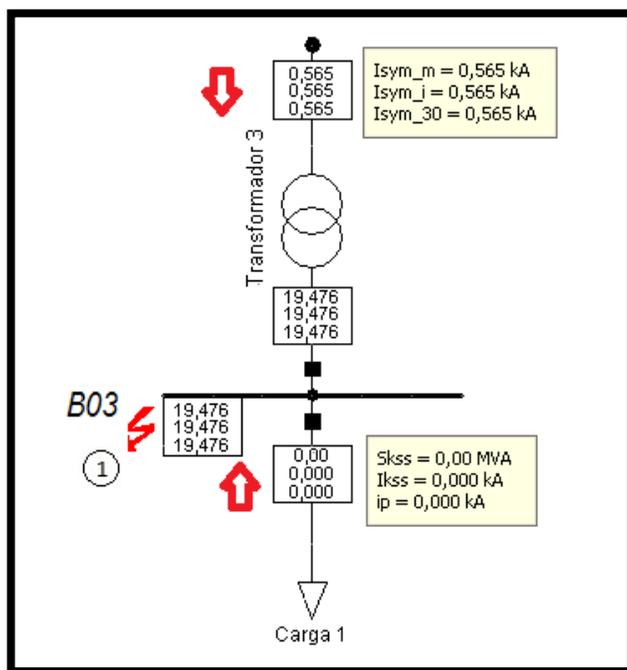


Figura 2.8: Diagrama unilineal en DIGSILENT para falla en barra B03.

2.4.5 Cálculo de cortocircuito en Barra B05

Para el cálculo de cortocircuito en barra B05, con referencia al diagrama de impedancias de la figura 1.2, es posible confeccionar una red de impedancia simplificada (ver figura 2.9), a través de la cual se obtiene que la impedancia equivalente en pu resulta ser $0,1265 \angle 86,64^\circ$ (pu), esto es:

$$Z_{Eq} = Z_E + Z_{T2} + Z_{L2} = 0,0074 + j0,1263 = 0,1265 \angle 86,64^\circ \text{ (pu)}$$

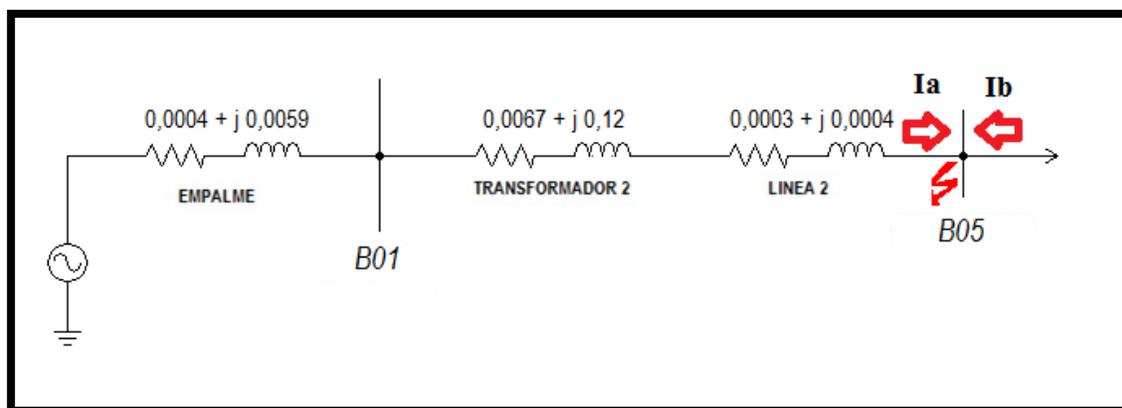


Figura 2.9: Diagrama unilineal de impedancias para falla en barra B05.

Considerando que el aporte de I_b es nulo por tratarse de una carga pasiva, la corriente de falla para la barra B05 resulta ser:

$$I_{f6-3\phi} = \frac{1}{Z_E + Z_{T2} + Z_{L2}} * 418,37 = 3.307,27 \angle - 86,64$$

Con referencia a la falla en la barra B05, en la figura 2.10 se muestra el diagrama de la red eléctrica analizada mediante el software Digsilent, en donde se identifica la corriente de falla en la barra B05 y los aportes a esta, en tal sentido, se confirma la coincidencia de resultados obtenidos por ambos métodos.

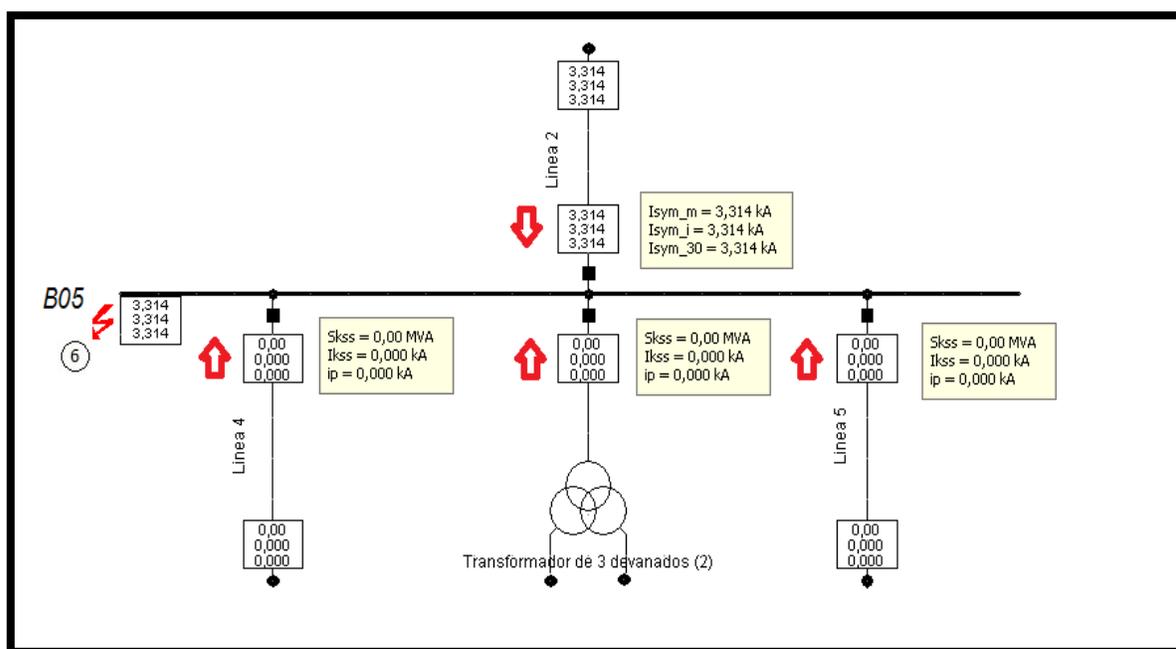


Figura 2.10: Diagrama unilineal en DIGSILENT para falla en barra B05.

2.4.6 Cálculo de cortocircuito en Barra B06

Para el cálculo de cortocircuito en barra B06, con referencia al diagrama de impedancias de la figura 1.2, es posible confeccionar una red de impedancia simplificada (ver figura 2.11), a través de la cual se obtiene que la impedancia equivalente en pu resulta ser $0,7592 \angle 82,14^\circ$ (pu), esto es:

$$Z_{Eq} = Z_E + Z_{T2} + Z_{L2} + Z_{T4} + Z_{L4} = 0,1038 + j0,7521 = 0,7592 \angle 82,14^\circ \text{ (pu)}$$

Considerando que el aporte de I_b es nulo por tratarse de una carga pasiva, la corriente de falla para la barra B06 resulta ser:

$$I_{f5-3\phi} = \frac{1}{Z_E + Z_{T2} + Z_{L2} + Z_{T4} + Z_{L4}} * 418,37 = 551,06 \angle -82,14$$

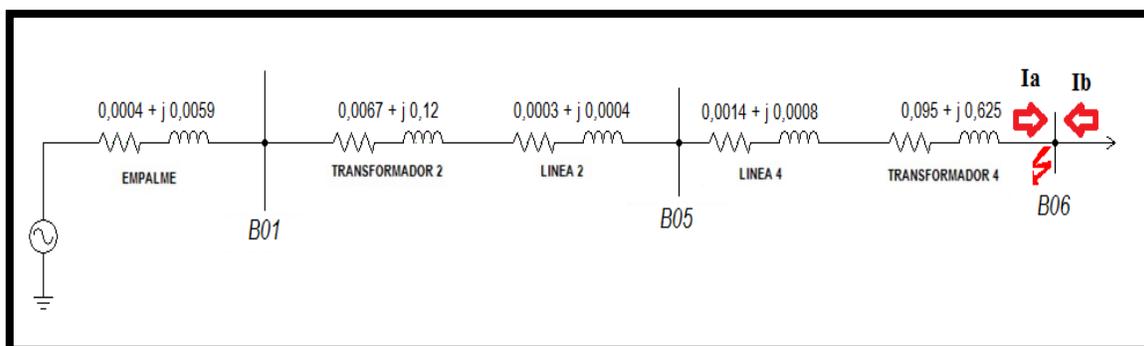


Figura 2.11: Diagrama unilineal de impedancias para falla en barra B06.

Con referencia a la falla en la barra B06, en la figura 2.12 se muestra el diagrama de la red eléctrica analizada mediante el software Digsilent, en donde se identifica la corriente de falla en la barra B06 y los aportes a esta, cabe destacar la coincidencia de resultados entregados por ambos métodos.

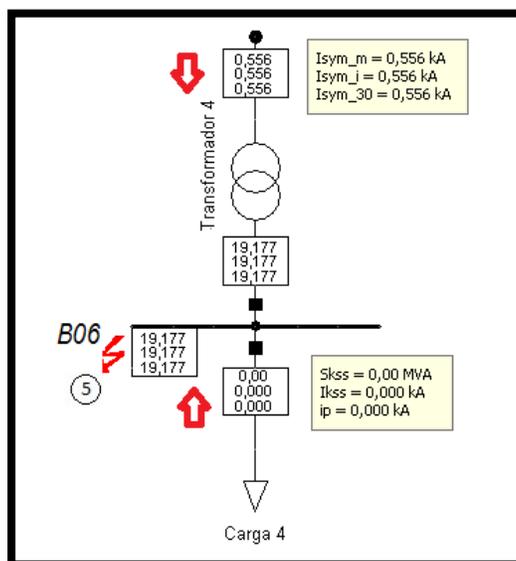


Figura 2.12: Diagrama unilineal en DIGSILENT para falla en barra B06.

2.4.7 Cálculo de cortocircuito en el devanado primario del T3D2

Para el cálculo de cortocircuito en devanado primario del T3D2, con referencia al diagrama de impedancias de la figura 1.2, es posible confeccionar una red de impedancia simplificada (ver figura 2.13), a través de la cual se obtiene que la impedancia equivalente en pu resulta ser $0,1265\angle 86,64^\circ$ (pu), esto es:

$$Z_{Eq} = Z_E + Z_{T2} + Z_{L2} = 0,0074 + j0,1263 = 0,1265\angle 86,64^\circ \text{ (pu)}$$

Considerando que el aporte de I_b es nulo por tratarse de una carga pasiva, la corriente de falla para el devanado primario del T3D2 resulta ser:

$$I_{f7-3\phi} = \frac{1}{Z_E + Z_{T2} + Z_{L2}} * 418,37 = 3.307,27\angle -86,64$$

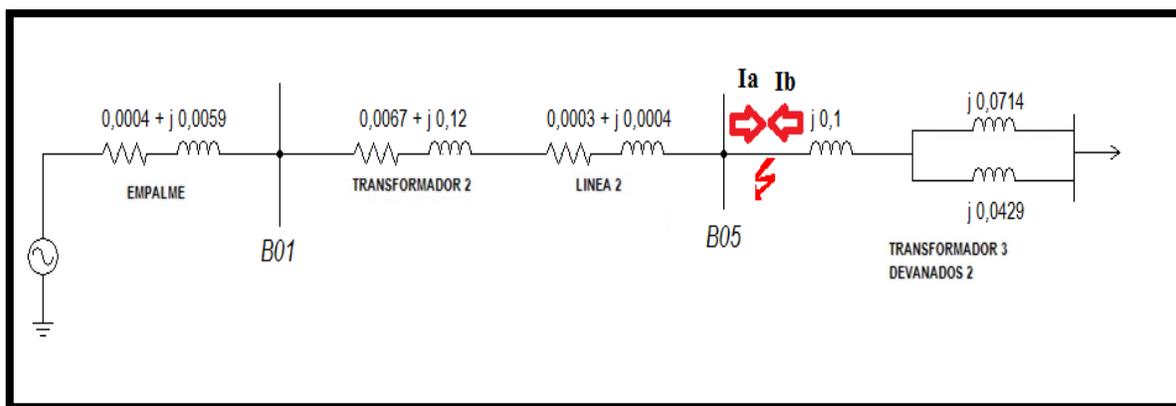


Figura 2.13: Diagrama unilineal de impedancias para falla en devanado primario de T3D2.

Con referencia a la falla en devanado primario del T3D2, en la figura 2.14 se muestra el diagrama de la red eléctrica analizada mediante el software Digsilent, en donde se identifica la corriente de falla en el devanado primario del T3D2 y los aportes a esta, verificando la coincidencia de resultados con ambos métodos.

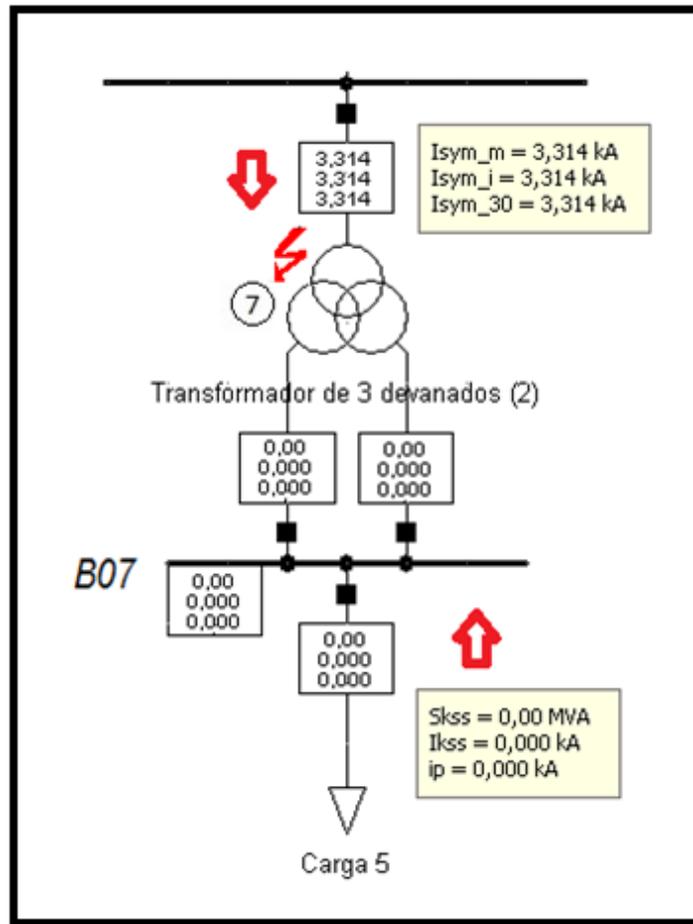


Figura 2.14: Diagrama unilineal en DIGSILENT para falla en devanado primario de T3D2.

2.4.8 Cálculo de cortocircuito en Barra B08

Para el cálculo de cortocircuito en barra B08, con referencia al diagrama de impedancias de la figura 1.2, es posible confeccionar una red de impedancia simplificada (ver figura 2.15), a través de la cual se obtiene que la impedancia equivalente en pu resulta ser $0,7338\angle 82,6^\circ$ (pu), esto es:

$$Z_{Eq} = Z_E + Z_{T2} + Z_{L2} + Z_{T5} + Z_{L5} = 0,0945 + j0,7277 = 0,7338\angle 82,6^\circ \text{ (pu)}$$

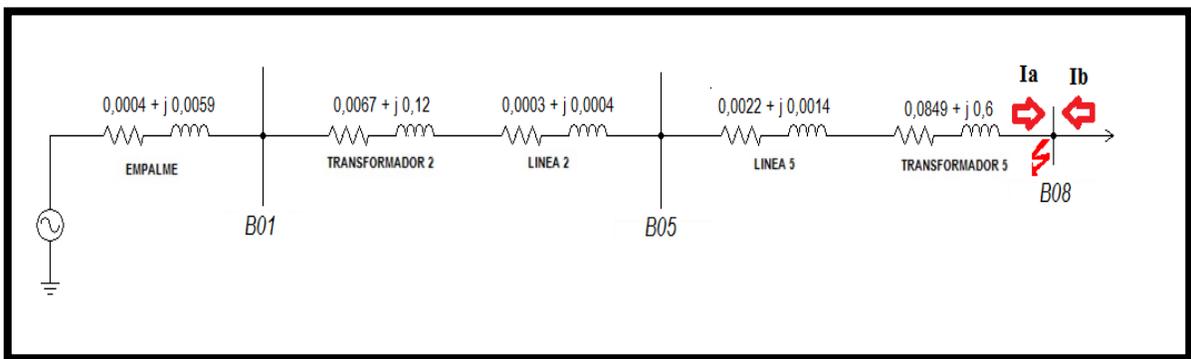


Figura 2.15: Diagrama unilineal de impedancias para falla en barra B08.

Considerando que el aporte de I_b es nulo por tratarse de una carga pasiva, la corriente de falla para la barra B08 resulta ser:

$$I_{f8-3\phi} = \frac{1}{Z_E + Z_{T2} + Z_{L2} + Z_{T5} + Z_{L5}} * 418,37 = 570,14 \angle -82,6$$

Con referencia a la falla en la barra B08, en la figura 2.16 se muestra el diagrama de la red eléctrica analizada mediante el software Digsilent, en donde se identifica la corriente de falla en la barra B08 y los aportes a esta, de análisis comparativo, se verifica la coincidencia de los resultados mediante los dos métodos.

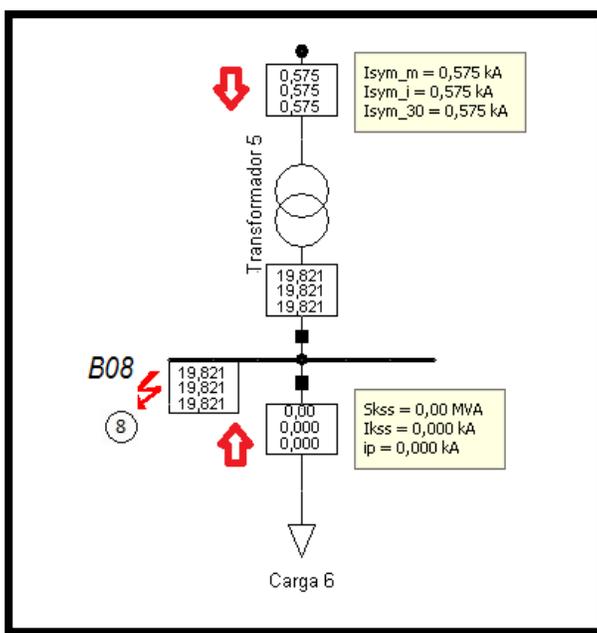


Figura 2.16: Diagrama unilineal en DIGSILENT para falla en barra B08.

2.5 Cálculo de corto circuito trifásico con DIGSILENT

Con respecto al diagrama de la figura 2.17, se presenta el diagrama unilineal general con el cálculo de cortocircuitos trifásicos en todas las barras.

Así, realizados los cálculos de cortocircuito trifásicos a cada una de las barras que componen la red eléctrica en estudio, en la Tabla 2.1 se muestra la comparación entre cortocircuitos realizados por un cálculo teórico y con el programa DIGSILENT.

Tabla 2.1: Tabla Comparativa de Cortocircuitos

FALLA	CÁLCULO TEORICO	CÁLCULO DIGSILENT
F1	0,558 kA	0,565 kA
F2	5.712 kA	5.725 kA
F3	5.712 kA	5.725 kA
F4	6.354 kA	6.373 kA
F5	0,551 kA	0,556 kA
F6	3.307 kA	3.314 kA
F7	3.307 kA	3.314 kA
F8	0,570 kA	0,575 kA

Del análisis de los métodos descritos en la Tabla 2.1, es posible verificar la coincidencia de las magnitudes de cortocircuitos trifásicos obtenidos con ambos métodos.

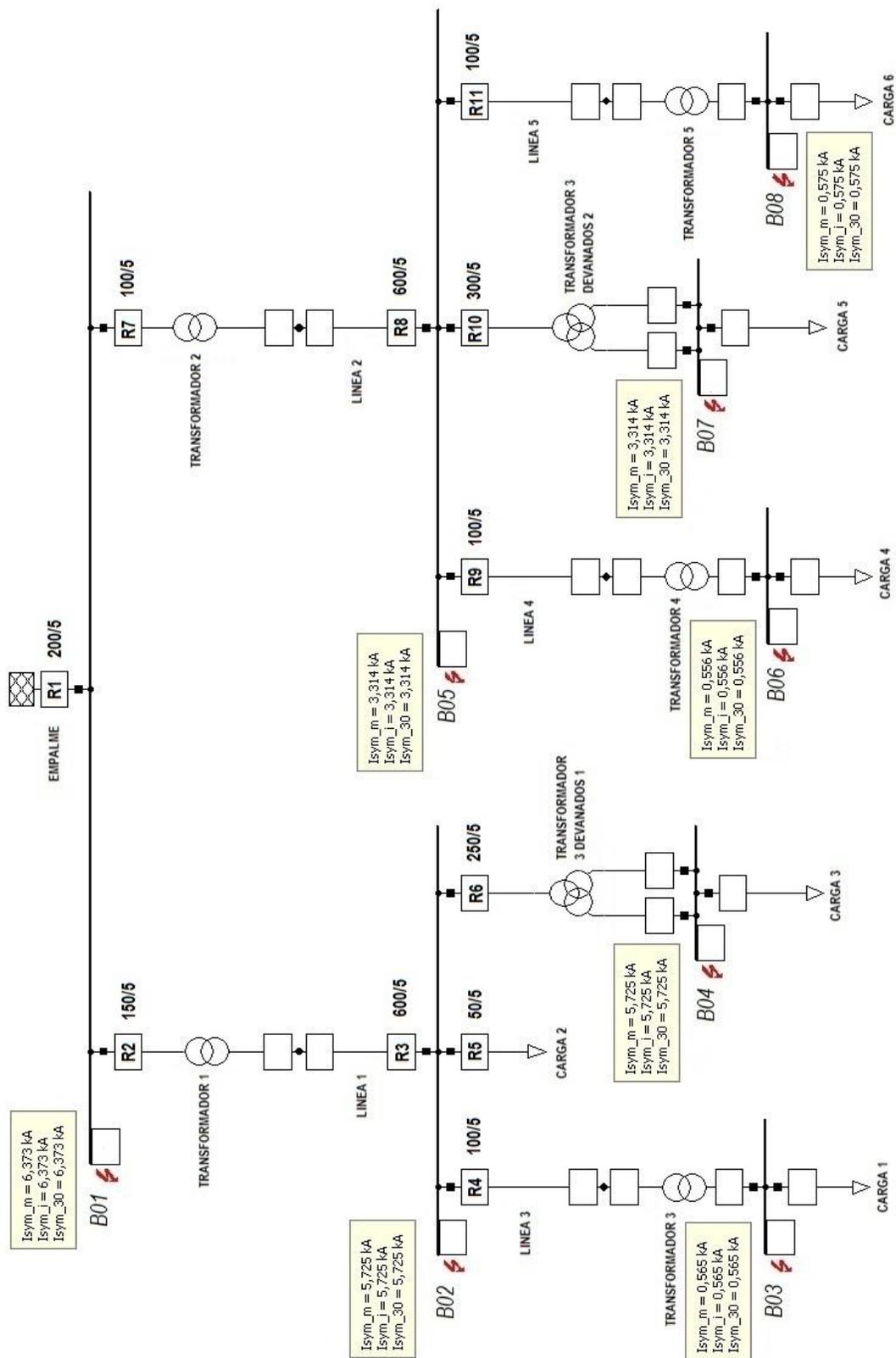


Figura 2.17: Diagrama unilínea de Corto Circuitos con DIGSILENT.

CAPÍTULO 3
ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE
PROTECCIONES MEDIANTE
SOFTWARE DIGSILENT

3.1 Introducción

Todo sistema eléctrico de potencia está expuesto a fallas, las cuales pueden ocurrir en cualquier momento sin previo aviso, debido a esto se debe estar contar con un adecuado sistema de protecciones. El objetivo de los sistemas de protección es remover de servicio lo más rápido posible cualquier equipo del SEP que comienza a operar en forma anormal. Además de limitar el daño causado a los equipos de potencia y proteger la integridad de los operarios.

3.2 Relé de sobre corriente

Es un dispositivo de protección que tiene la capacidad de detectar un aumento brusco de la corriente que circula por el SEP, la cual al superar el nivel de ajuste predeterminado, acciona un interruptor de poder para que este desconecte la zona en donde se detectó la sobre corriente. En un relé de sobre corriente la corriente primaria que circula es sensada por un transformador de medida en su devanado primario, y reducida por su devanado secundario a valores normalizados 5 A o 1 A.

El funcionamiento de un relé de sobre corriente depende de dos variables básicas:

- Corriente PICK UP: Es la mínima corriente de operación, la cual produce el cambio de estado de los contactos del relé.
- Tiempo de operación: Es la forma en que el relé responde a una falla en el sistema que está protegiendo.

Al considerar el análisis para falla trifásica, se establece la necesidad de analizar dos funciones de protección del relé, estos son:

- Unidad instantánea (50): La operación es instantáneamente en caso de un excesivo valor de corriente.
- Unidad temporizada de sobre corriente (51): La operación presenta una característica de tiempo inverso o de tiempo fijo que funciona cuando la intensidad de un circuito sobrepasa un valor dado.

Para que un sistema de protección sea confiable debe contar con más de un elemento de protección para resguardar la misma falla. Para que en caso de que la protección principal no actué, la falla sea despejada por otra protección con un tiempo definido. A esta protección secundaria se le denomina protección de respaldo y normalmente es un relé temporizado de sobre corriente.

3.3 Análisis de ajuste y coordinación de protecciones

3.3.1 Fundamentos

Para el análisis del sistema de protección, se contempla utilizar como herramienta de apoyo el software Power Factory DIGSILENT. Es así, que en la figura 3.1 se presenta el diagrama unilíneal de la red eléctrica en estudio, esto con énfasis en sus componentes de protecciones elaborado con software Power Factory DIGSILENT.

En relación con los ajustes de las protecciones, se considera la información existente en terreno de las protecciones, en tal sentido en la Tabla 3.1 se presentan los ajustes existentes para las funciones de protección 50/51.

Tabla 3.1: Información existente en terreno de los relés, para las funciones de protección 50/51

Relé	T/C	I pickup (51)	M (51)	Tipo de curva	I pickup (50)	M(50)
R1	200/5	0,0625xCT sec.	3,5	IAC Muy Inversa	0,375xCT sec.	0,00
R2	150/5	0,1xCT sec.	1,5	IAC Muy Inversa	1,275xCT sec.	0,00
R3	600/5	0,023xCT sec.	0,3	IAC Muy Inversa	-	-
R4	100/5	0,14xCT sec.	0,5	IAC Muy Inversa	0,2xCT sec.	0,00
R5	50/5	-	-	IAC Muy Inversa	0,1xCT sec.	0,00
R6	250/5	0,048xCT sec.	0,5	IAC Muy Inversa	0,1xCT sec.	0,00
R7	100/5	0,1xCT sec.	2	IAC Muy Inversa	0,74xCT sec.	0,00
R8	600/5	0,016xCT sec.	0,5	IAC Corta Inversa	-	-
R9	100/5	-	-	IAC Muy Inversa	0,2xCT sec.	0,00
R10	300/5	-	-	IAC Muy Inversa	0,067xCT sec.	0,00
R11	100/5	-	-	IAC Muy Inversa	0,25xCT sec.	0,00

3.3.2 Análisis de operación del Relé 1

Referente al diagrama unilineal de la figura 3.1 y considerando la información actual de los relés mostrada en la tabla 3.1, se procede a analizar la operación actual del relé 1.

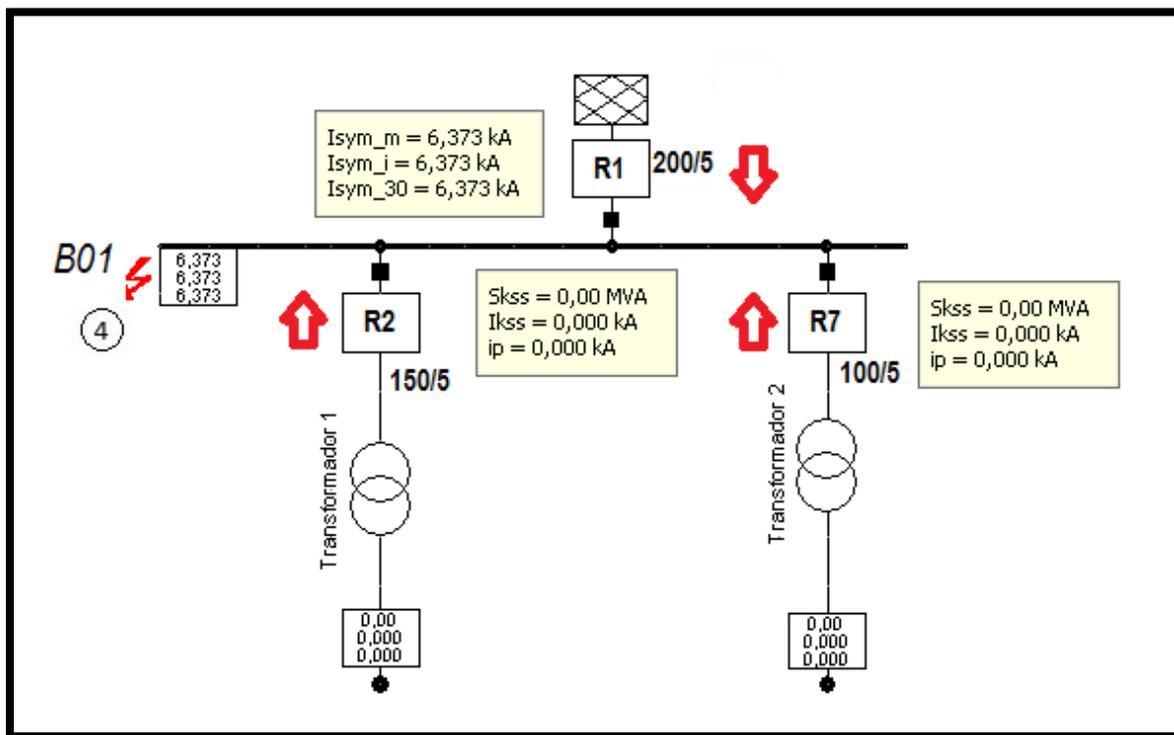


Figura 3.1: Diagrama unilineal de impedancias para falla en barra B01.

En relación a la información de la tabla 3.2, para la falla trifásica en la barra B01, el relé 1 detecta la corriente de falla, dando la señal de apertura instantánea al interruptor asociado, eliminando el aporte de la red eléctrica a la falla

Tabla 3.2: Tiempo de operación de la protección

Designación	I_{falla} (kA)	T_{op} (seg)	Condición
R1	6,373	0,020	Phase-IC-50
SW 1		0,1	

Por otro lado en la figura 3.2 se presenta la carta de coordinación, estableciendo la correcta operación de las protecciones para esta condición de falla.

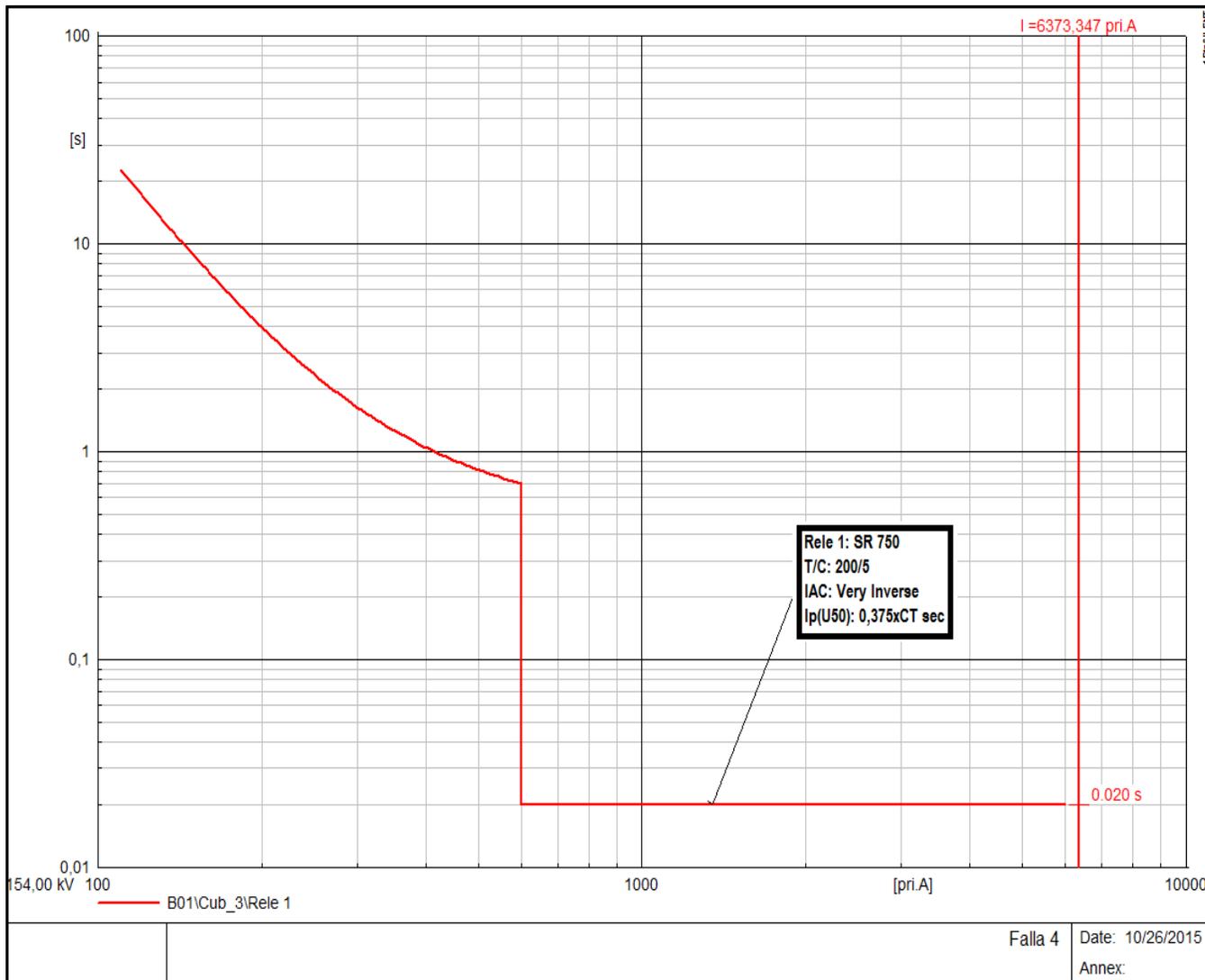


Figura 3.2: Carta de Coordinación actual del Relé 1

Dado que el ajuste del relé 1, cumple con los requerimientos de protección, no se va a realizar una nueva propuesta de ajuste, referente a la unidad instantánea del relé.

3.3.3 Análisis de operación del Relé 2

Considerando el diagrama unilíneal de la figura 3.3 y la información actual de los relés mostrada en la tabla 3.1, a continuación se va a analizar la operación actual del relé.

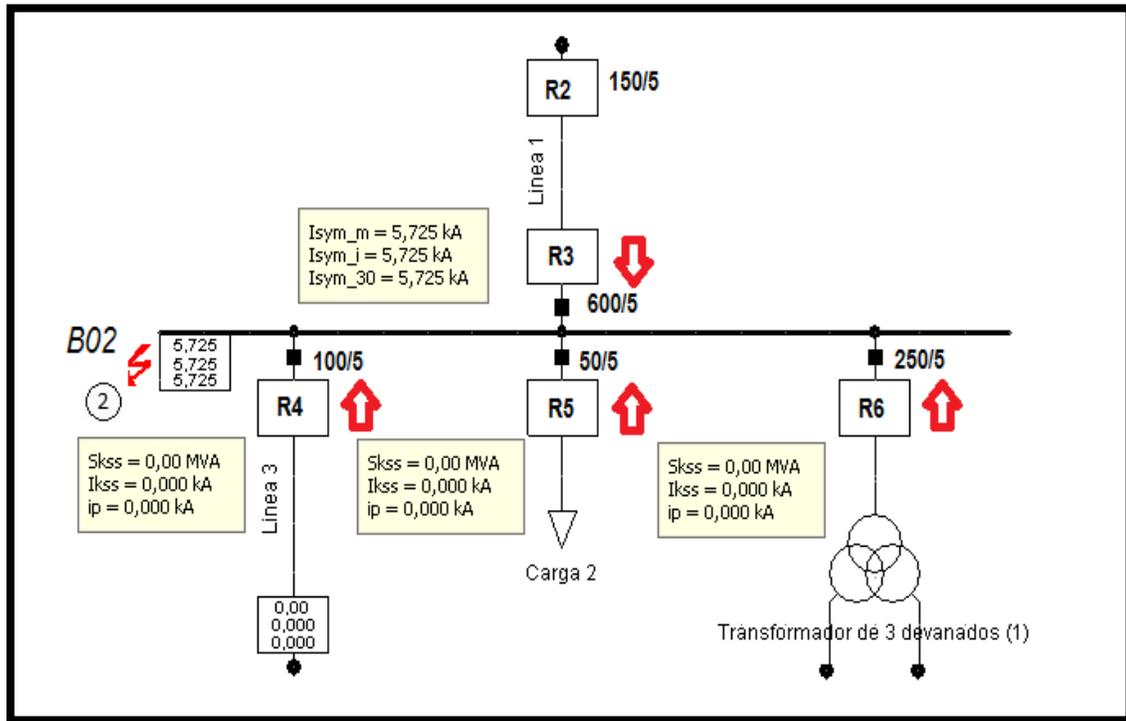


Figura 3.3: Diagrama unilineal de impedancias para falla en barra B02.

Dada la información de la tabla 3.3, para la falla trifásica en la barra B02, el relé 2 detecta la corriente de falla, dando la señal de apertura instantánea al interruptor asociado, eliminando el aporte de la red eléctrica a la falla

Tabla 3.3: Tiempo de operación de la protección

Designación	I_{falla} (kA)	T_{op} (seg)	Condición
R2	5,725	0,374	Phase-OC-51
SW 2		0,1	
R1 (respaldo a R2)	5,725	0,929	Phase-OC-51
SW1		0,1	

Por otro lado en la figura 3.4 se presenta la carta de coordinación.

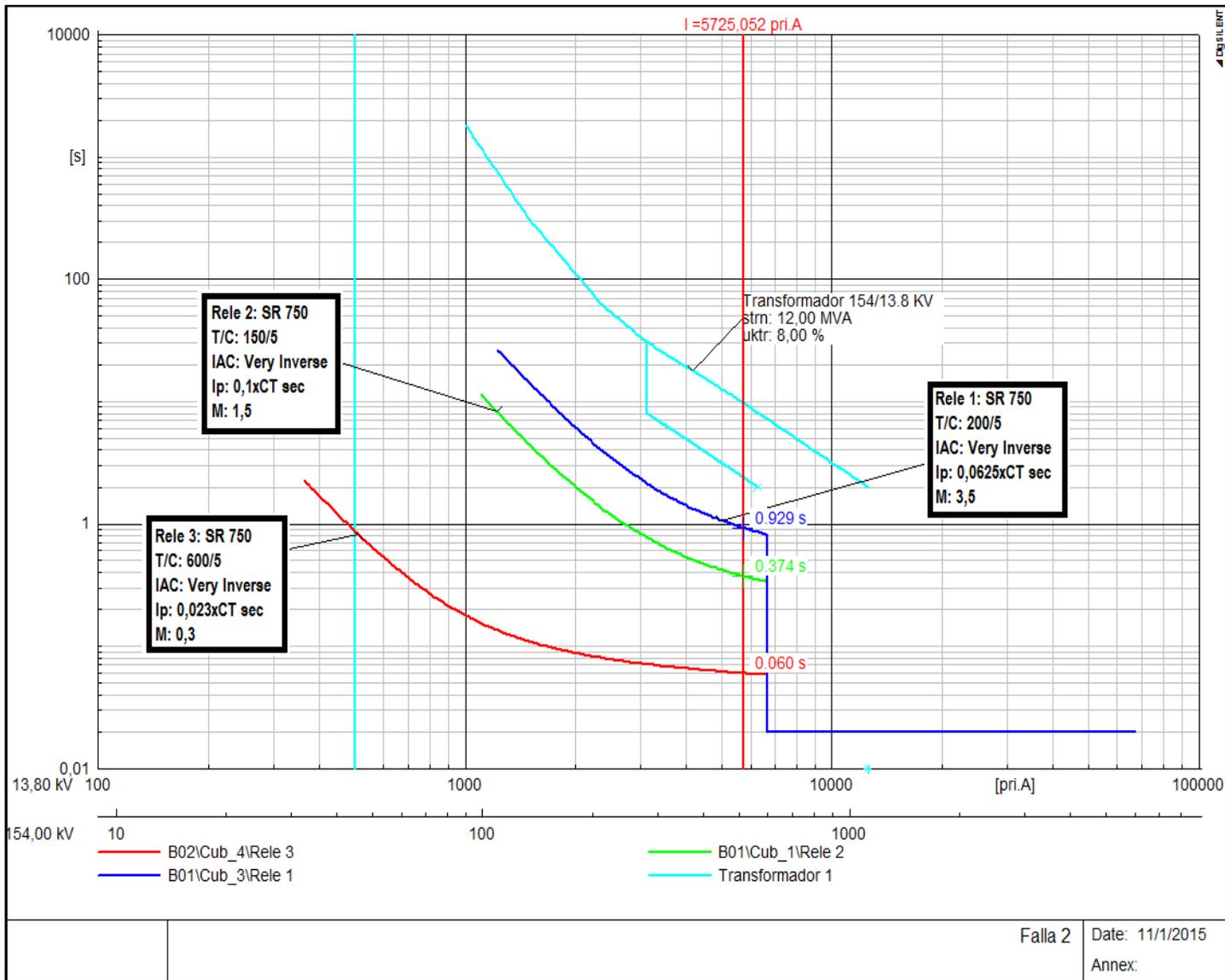


Figura 3.4: Carta de Coordinación actual del Relé 2

Debido a que el paso de coordinación entre el relé 2 y el relé 1 es mayor al recomendado, se procede a realizar una nueva propuesta de ajustes.

3.3.4 Propuesta de ajuste para Relé 2

Para el ajuste del relé 2, se considera la falla 2 y el respaldo para el relé 3, la cual se presenta a continuación en la figura 3.5.

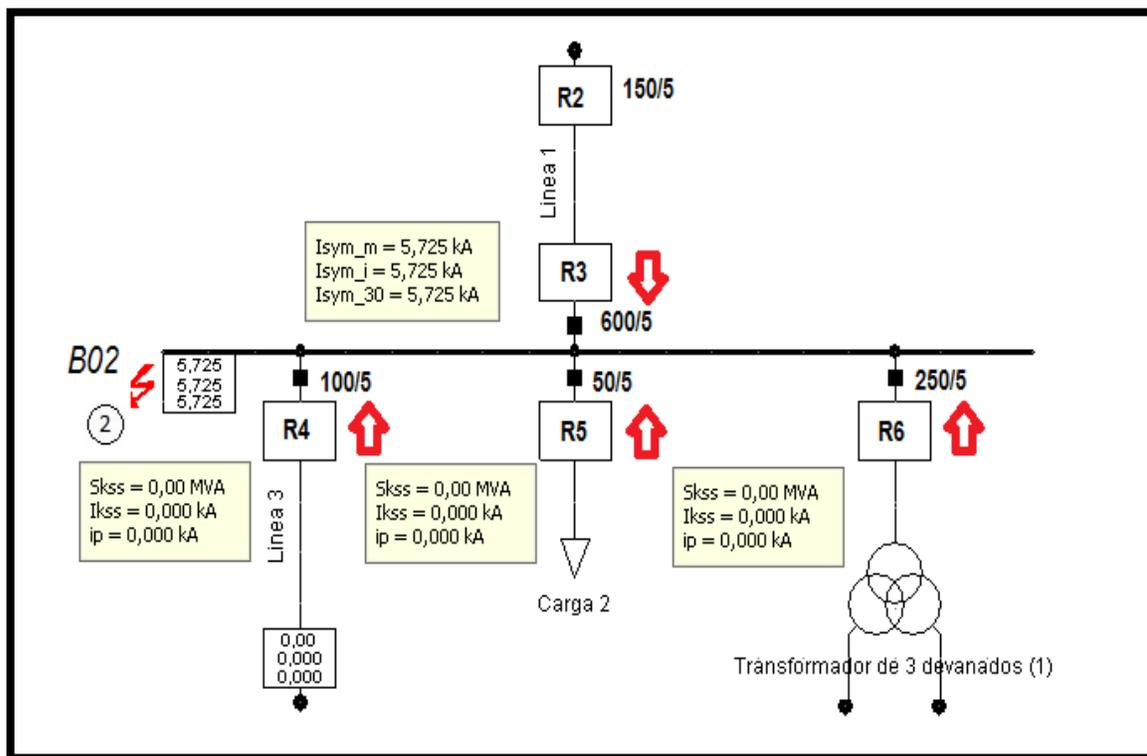


Figura 3.5: Diagrama unilineal de impedancias para falla en barra B02.

En relación a la información de la Tabla 3.4, para la falla trifásica en la barra B02, el relé 2 detecta la corriente de falla, dando la señal de apertura instantánea al interruptor asociado, eliminando el aporte de la red eléctrica a la falla

Tabla 3.4: Tiempo de operación de la protección

Designación	I_{falla} (kA)	T_{op} (seg)	Condición
R2 SW 2	5,725	0,390 0,1	Phase-OC-51
R1 (respaldo a R2) SW 1	5,725	0,799 0,1	Phase-OC-51

Por otro lado en la figura 3.6 se presenta la carta de coordinación, estableciendo la correcta operación de las protecciones para esta condición de falla.

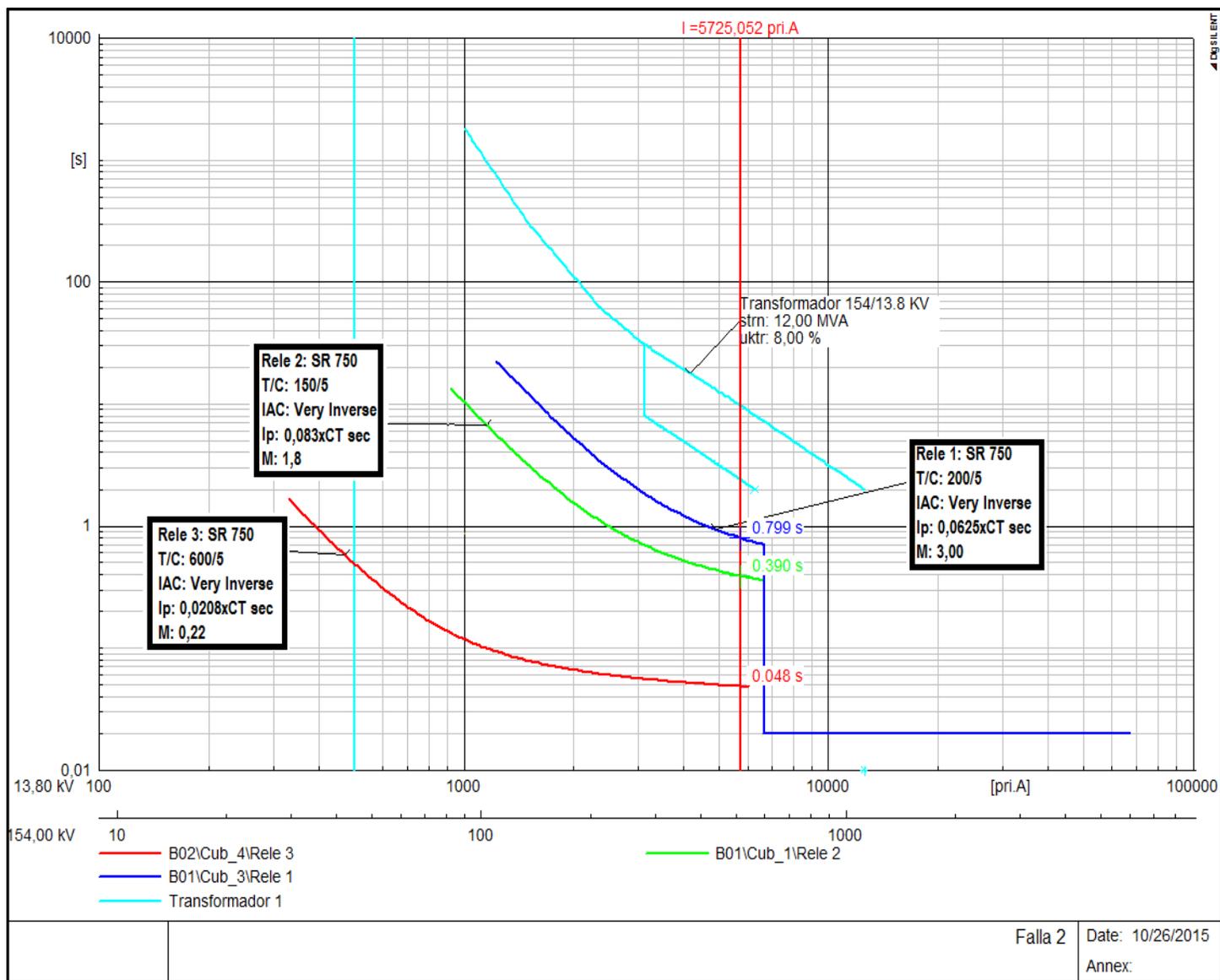


Figura 3.6: Carta de Coordinación propuesta para Relé 2

3.3.5 Análisis de operación del Relé 3

En base al diagrama unilineal de la figura 3.7, además de la información actual de los relés mostrada en la tabla 3.1, se presenta el análisis de operación actual del relé.

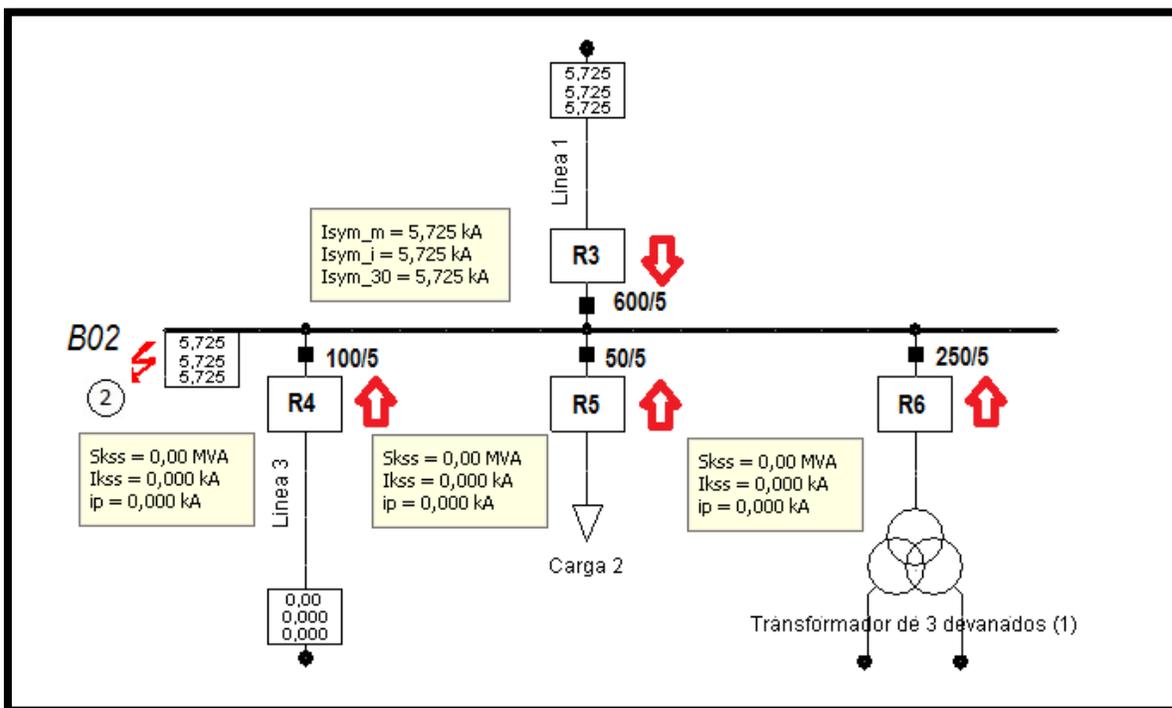


Figura 3.7: Diagrama unilineal en DIGSILENT para falla en barra B02.

En relación a la información de la tabla 3.5, para la falla trifásica en la barra B02, el relé 3 detecta la corriente de falla, dando la señal de apertura instantánea al interruptor asociado, eliminando el aporte de la red eléctrica a la falla

Tabla 3.5: Tiempo de operación de la protección

Designación	I_{falla} (kA)	T_{op} (seg)	Condición
R3	5,725	0,060	Phase-OC-51
SW 3		0,1	
R2 (respaldo a R3)	5,725	0,374	Phase-OC-51
SW 2		0,1	
R1 (respaldo a R3)	5,725	0,929	Phase-OC-51
SW 1		0,1	

Por otro lado en la figura 3.8 se presenta la carta de coordinación

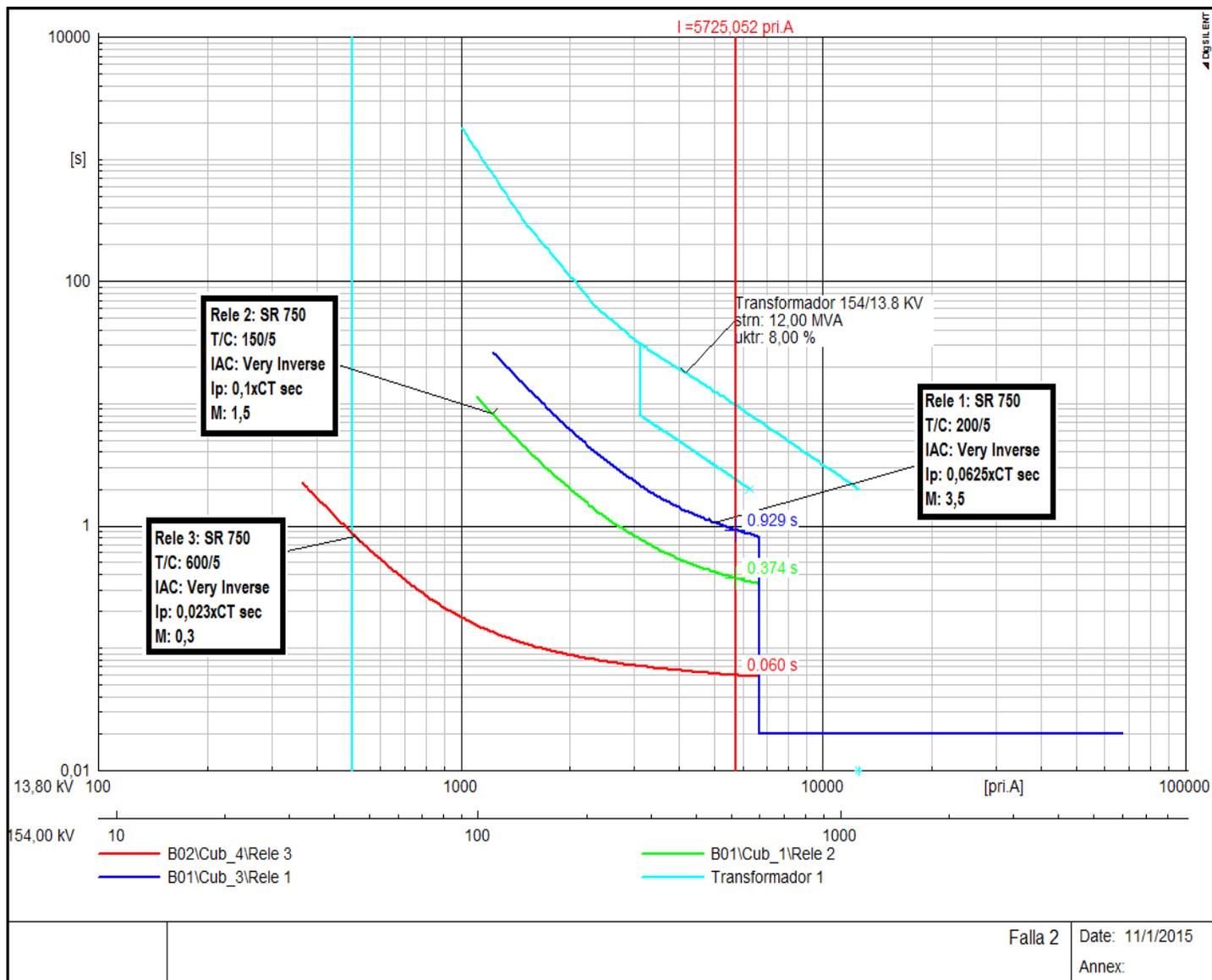


Figura 3.8: Carta de Coordinación actual del Relé 3

Considerando que el paso de coordinación entre el relé 2 y el relé 3 es mayor al recomendado, se va a realizar una nueva propuesta de ajustes.

3.3.6 Propuesta de ajuste para Relé 3

Para el ajuste del relé 3, se considera la falla 2 y el respaldo para los relés 4, relé 5 y relé 6, la cual se presenta a continuación en la figura 3.9.

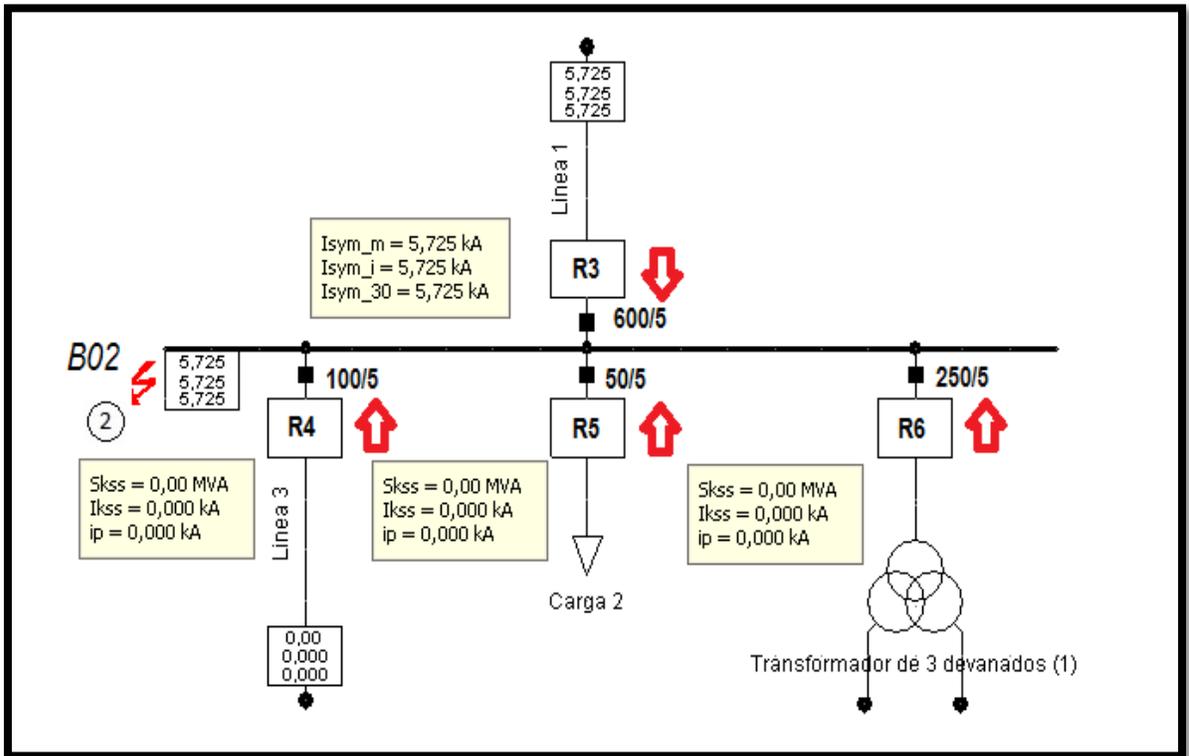


Figura 3.9: Diagrama unilineal en DIGSILENT para falla en barra B02.

En relación a la información de la tabla 3.6, para la falla trifásica en la barra B02, el relé 3 detecta la corriente de falla, dando la señal de apertura instantánea al interruptor asociado, eliminando el aporte de la red eléctrica a la falla

Tabla 3.6: Tiempo de operación de la protección

Designación	I_{falla} (kA)	T_{op} (seg)	Condición
R3 SW 3	5,725	0,048 0,1	Phase-OC-51
R2(respaldo a R3) SW 2	5,725	0,390 0,1	Phase-OC-51
R1(respaldo a R3) SW 1	5,725	0,799 0,1	Phase-OC-51

Por otro lado en la figura 3.10 se presenta la carta de coordinación, estableciendo la correcta operación de las protecciones para esta condición de falla.

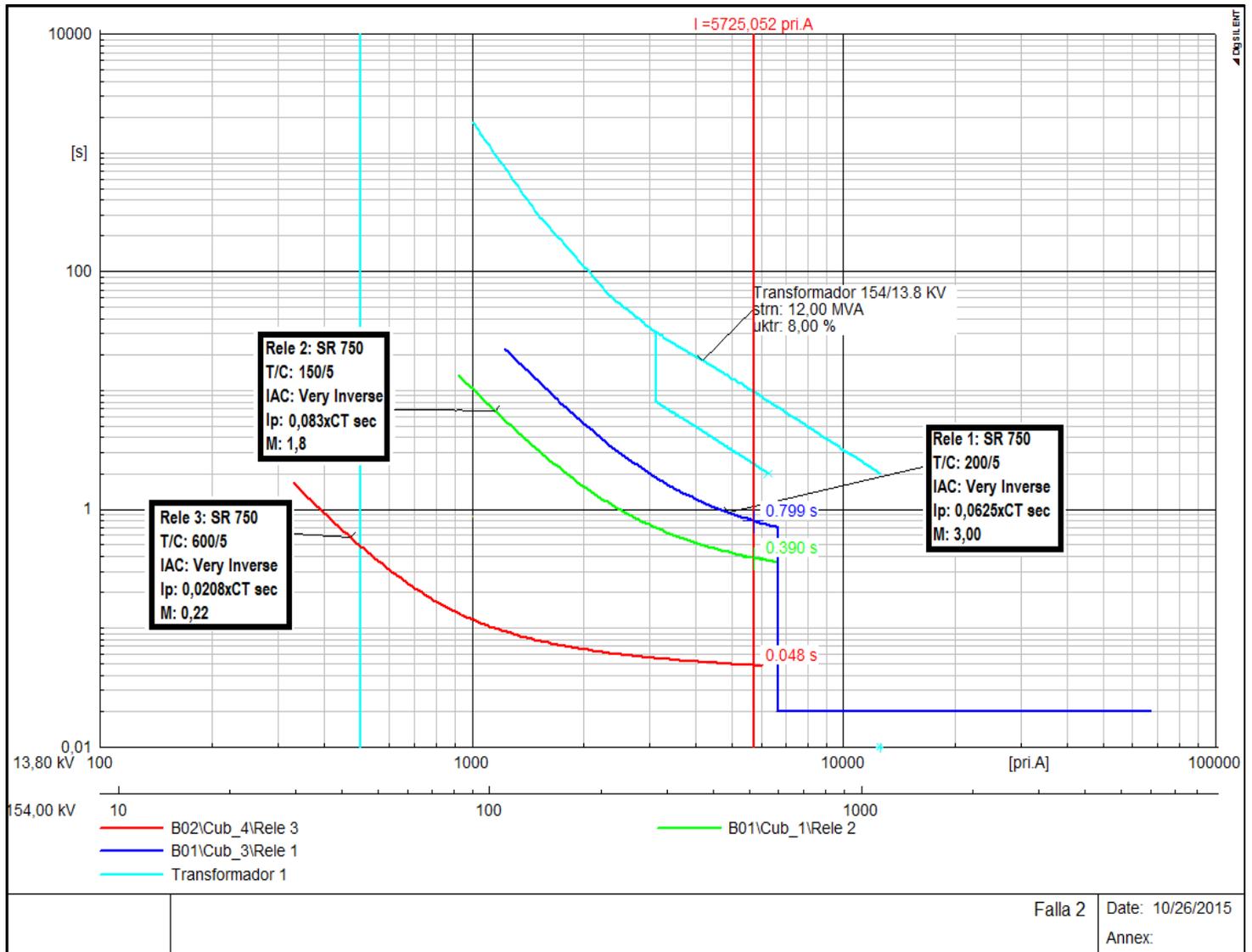


Figura 3.10: Carta de Coordinación propuesta para Relé 3

3.3.7 Análisis de operación del Relé 4

Dado el diagrama unilineal de la figura 3.11 y considerando la información actual de los relés mostrada en la tabla 3.1, a continuación se muestra el análisis de operación actual del relé.

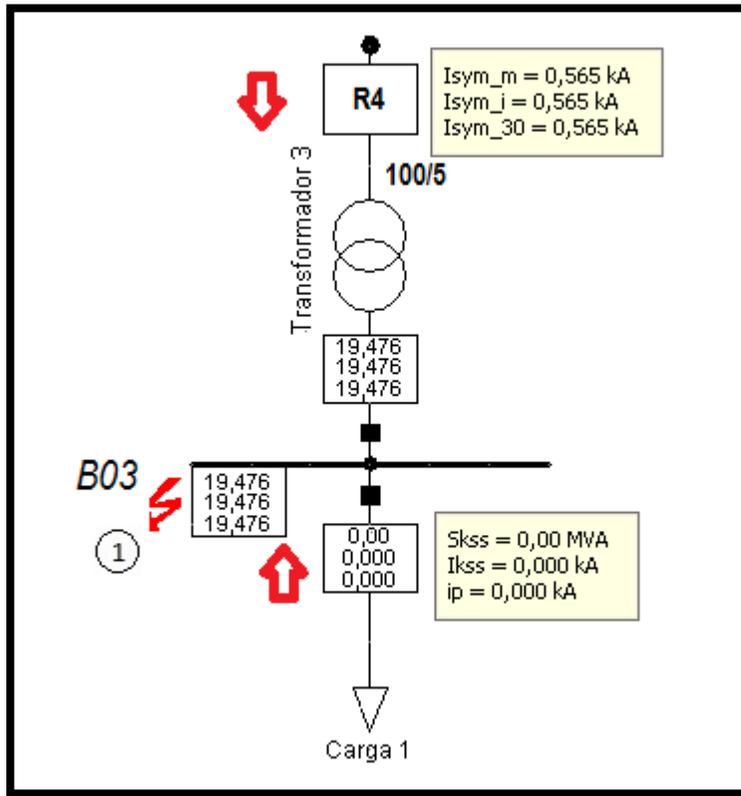


Figura 3.11: Diagrama unilineal en DIGSILENT para falla en barra B03.

En relación a la información de la tabla 3.7, para la falla trifásica en la barra B03, el relé 4 detecta la corriente de falla, dando la señal de apertura instantánea al interruptor asociado, eliminando el aporte de la red eléctrica a la falla

Tabla 3.7: Tiempo de operación de la protección

Designación	I_{falla} (kA)	T_{op} (seg)	Condición
R4	0,564	0,020	Phase-IC-50
SW 4		0,1	
R3 (respaldo a R4)	0,564	0,623	Phase-OC-51
SW 3		0,1	

Por otro lado en la figura 3.12 se presenta la carta de coordinación, estableciendo la correcta operación de las protecciones para esta condición de falla.

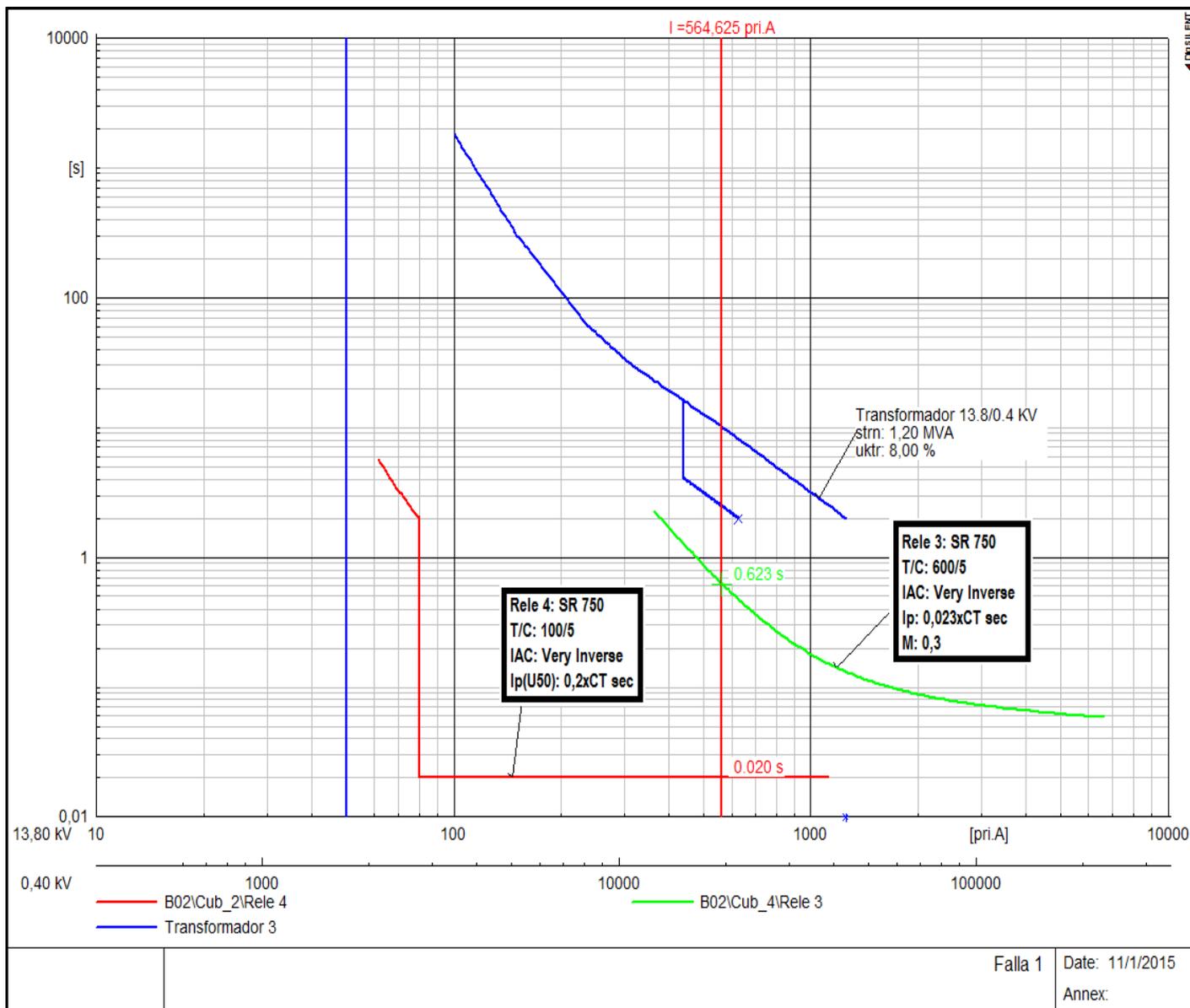


Figura 3.12: Carta de Coordinación actual del Relé 4

Debido a que el relé 4 opera en 0,02 segundos con la unidad instantánea, no se propone un nuevo ajuste para este relé, pero si considerar la nueva propuesta recomendada para el relé 3 y así reducir el tiempo de paso de coordinación tal como se muestra en la figura 3.13.

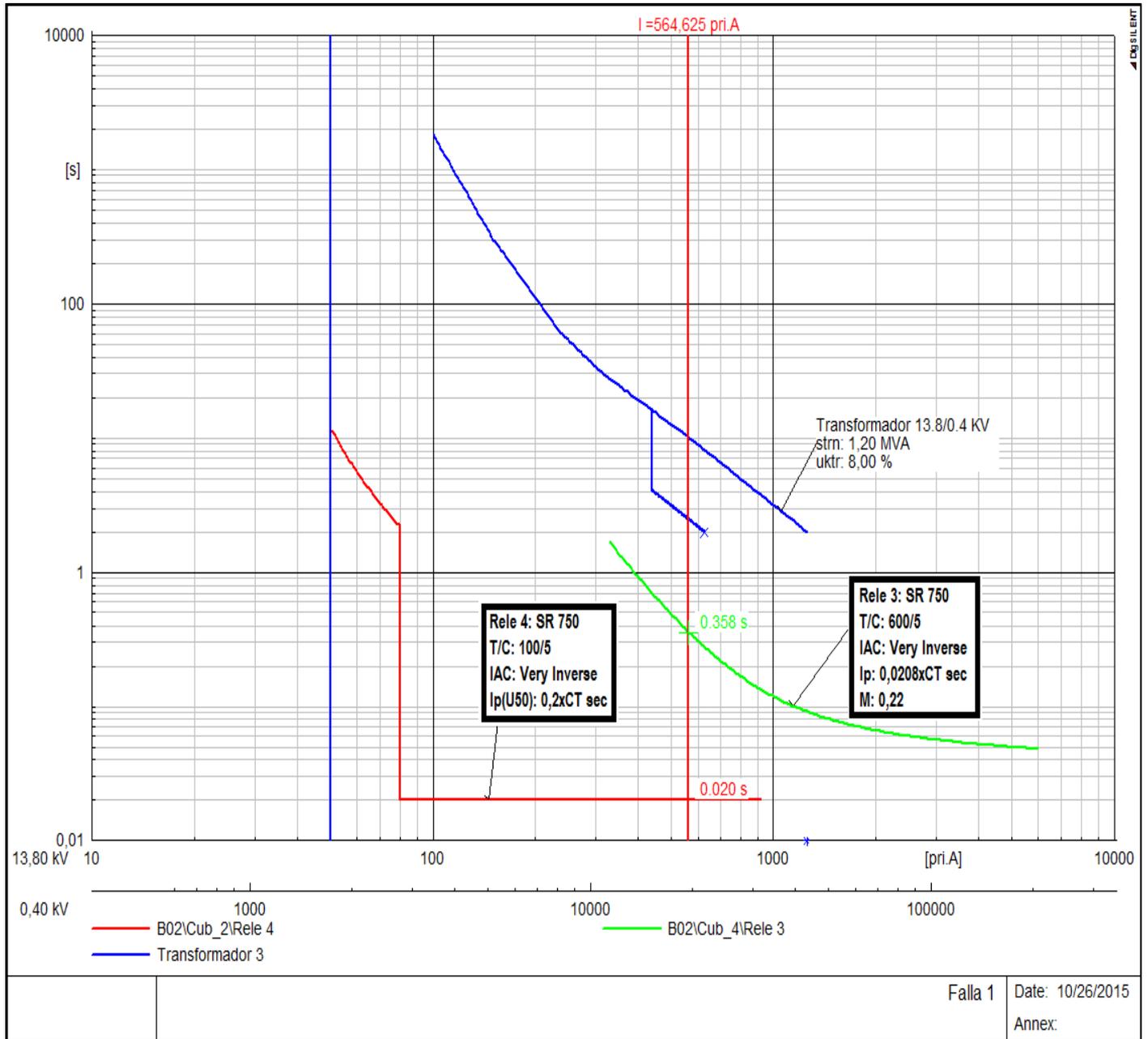


Figura 3.13: Carta de Coordinación propuesta para Relé 4

3.3.8 Análisis de operación del Relé 6

Al considerar el diagrama unilineal de la figura 3.14 y analizando la información actual de los relés mostrada en la tabla 3.1, se presenta el análisis de operación actual del relé.

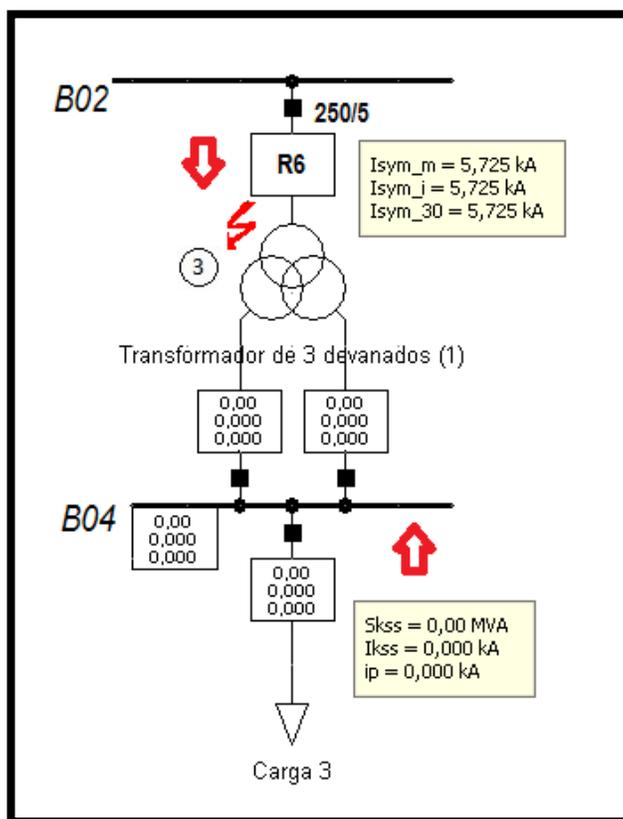


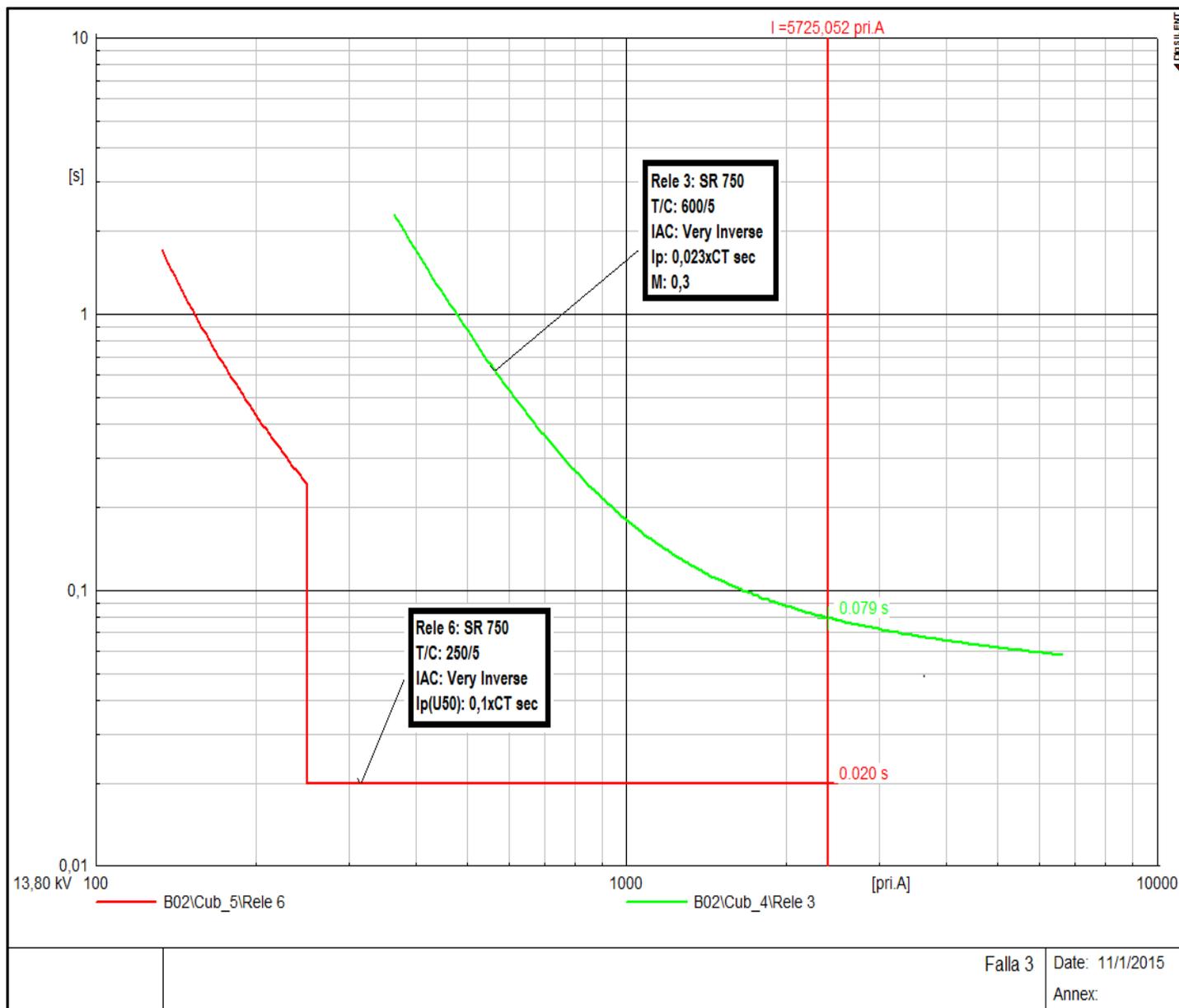
Figura 3.14: Diagrama unilineal de impedancias en DIGSILENT para falla en devanado primario de T3D1.

En relación a la información de la Tabla 3.8, para la falla trifásica en el devanado primario del T3D1, el relé 6 detecta la corriente de falla, dando la señal de apertura instantánea al interruptor asociado, eliminando el aporte de la red eléctrica a la falla

Tabla 3.8: Tiempo de operación de la protección

Designación	I_{falla} (kA)	T_{op} (seg)	Condición
R6	5,725	0,020	Phase-IC-50
SW 6		0,1	
R3(respaldo a R6)	5,725	0,079	Phase-OC-51
SW 3		0,1	

Por otro lado en la figura 3.15 se presenta la carta de coordinación, estableciendo la



correcta operación de las protecciones para esta condición de falla.

Figura 3.15: Carta de Coordinación actual del Relé 6

Verificando que el relé 6 opera en 0,02 segundos con la unidad instantánea, en este caso no se propone un nuevo ajuste para este relé, pero si considerar la nueva propuesta recomendada para el relé 3 y así reducir el tiempo de paso de coordinación tal como se muestra en la figura 3.16.

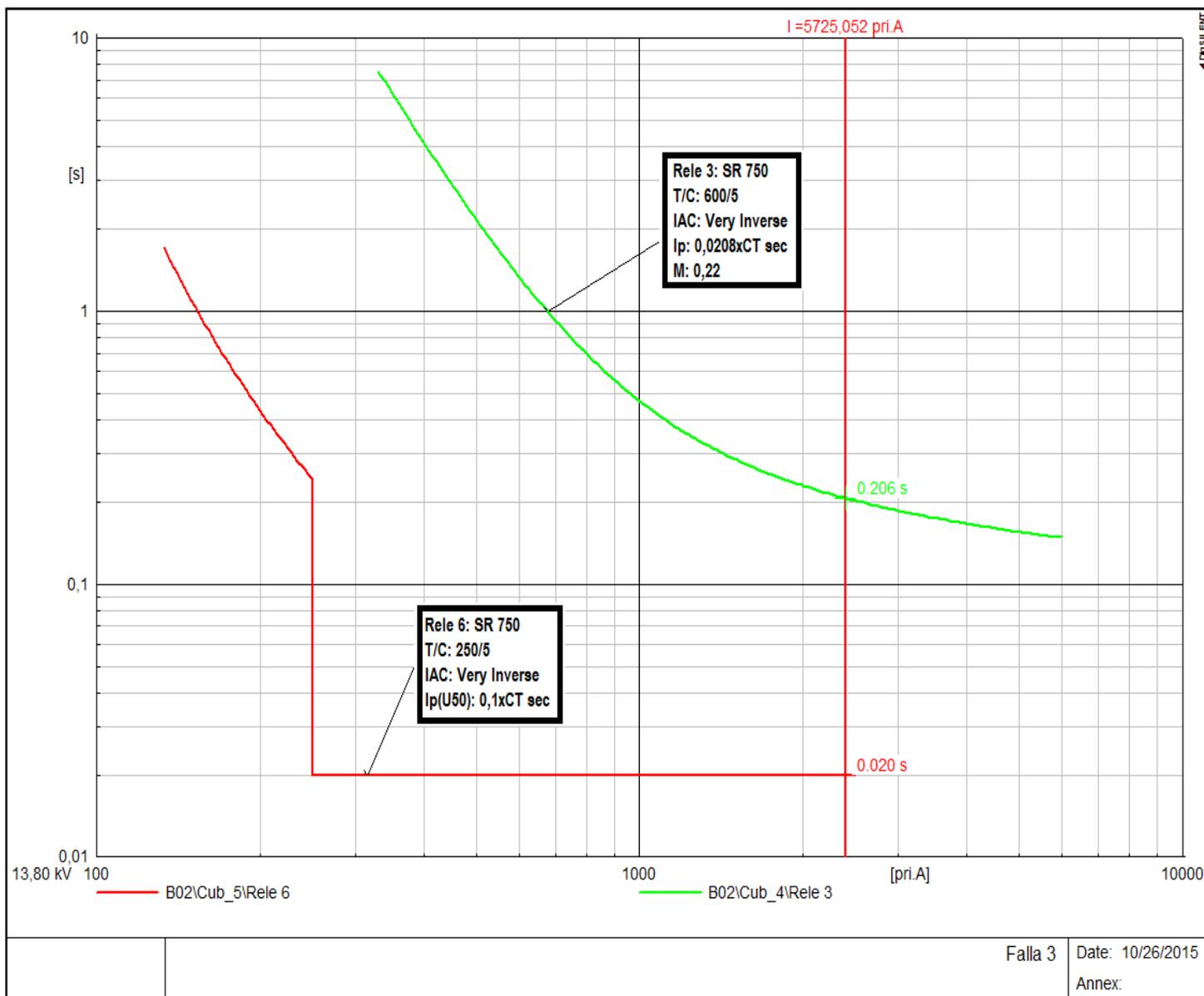


Figura 3.16: Carta de Coordinación propuesta para el Relé 6

3.3.9 Análisis de operación del Relé 7

Considerando el diagrama unilíneal de la figura 3.17 y al observar la información actual de los relés mostrada en la tabla 3.1, se procede a realizar el análisis de operación actual del relé.

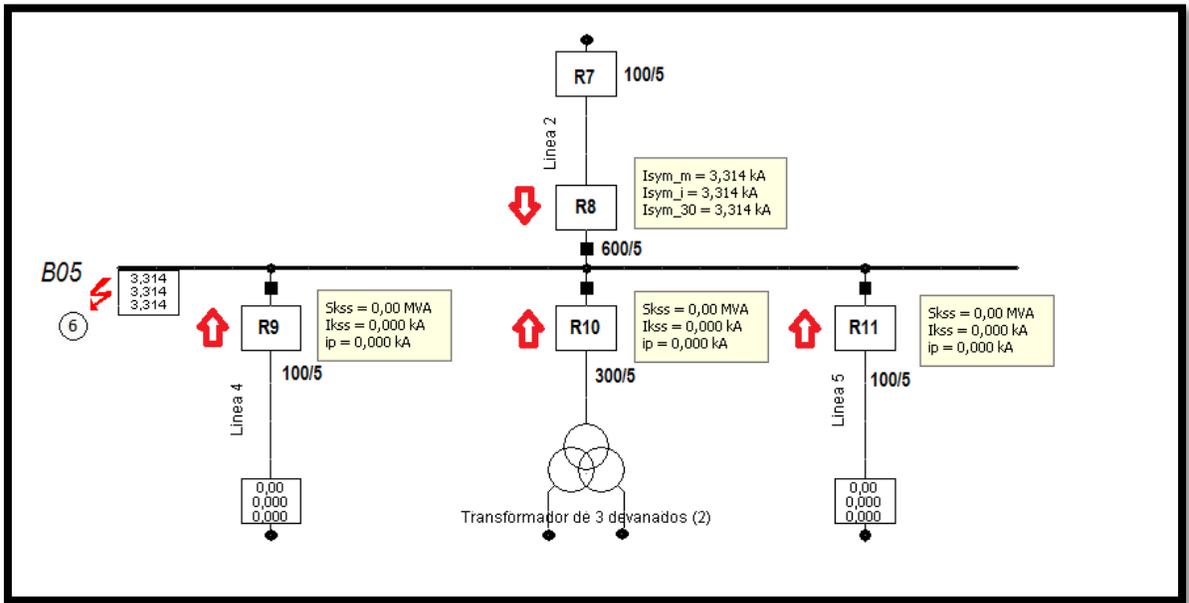


Figura 3.17: Diagrama unilineal en DIGSILENT para falla en barra B05.

En relación a la información de la Tabla 3.9, para la falla trifásica en la barra B05, el relé 7 detecta la corriente de falla, dando la señal de apertura instantánea al interruptor asociado, eliminando el aporte de la red eléctrica a la falla

Tabla 3.9: Tiempo de operación de la protección

Designación	I_{falla} (kA)	T_{op} (seg)	Condición
R7 SW 7	3,314	0,410 0,1	Phase-OC-51
R1 (respaldo al R7) SW 1	3,314	1,936 0,1	Phase-OC-51

Por otro lado en la figura 3.18 se presenta la carta de coordinación, estableciendo la correcta operación de las protecciones para esta condición de falla.

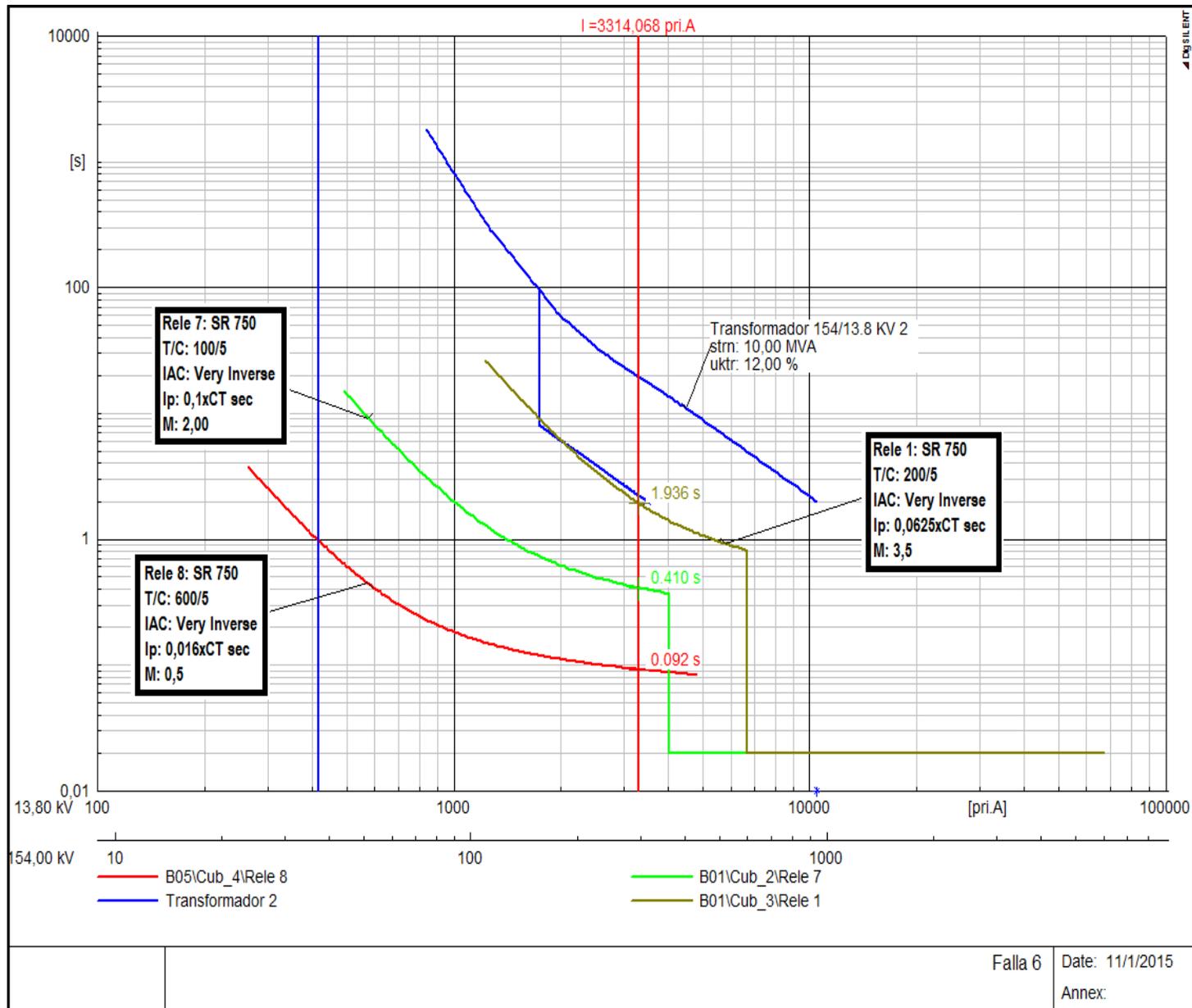


Figura 3.18: Carta de Coordinación actual del Relé 7

Verificando que el relé 7 opera de forma adecuada, no se propone un nuevo ajuste para este relé, pero si considerar la nueva propuesta recomendada para el relé 3 y para el relé 1, con el cual se va a reducir el tiempo de paso de coordinación tal como se muestra en la figura 3.19.

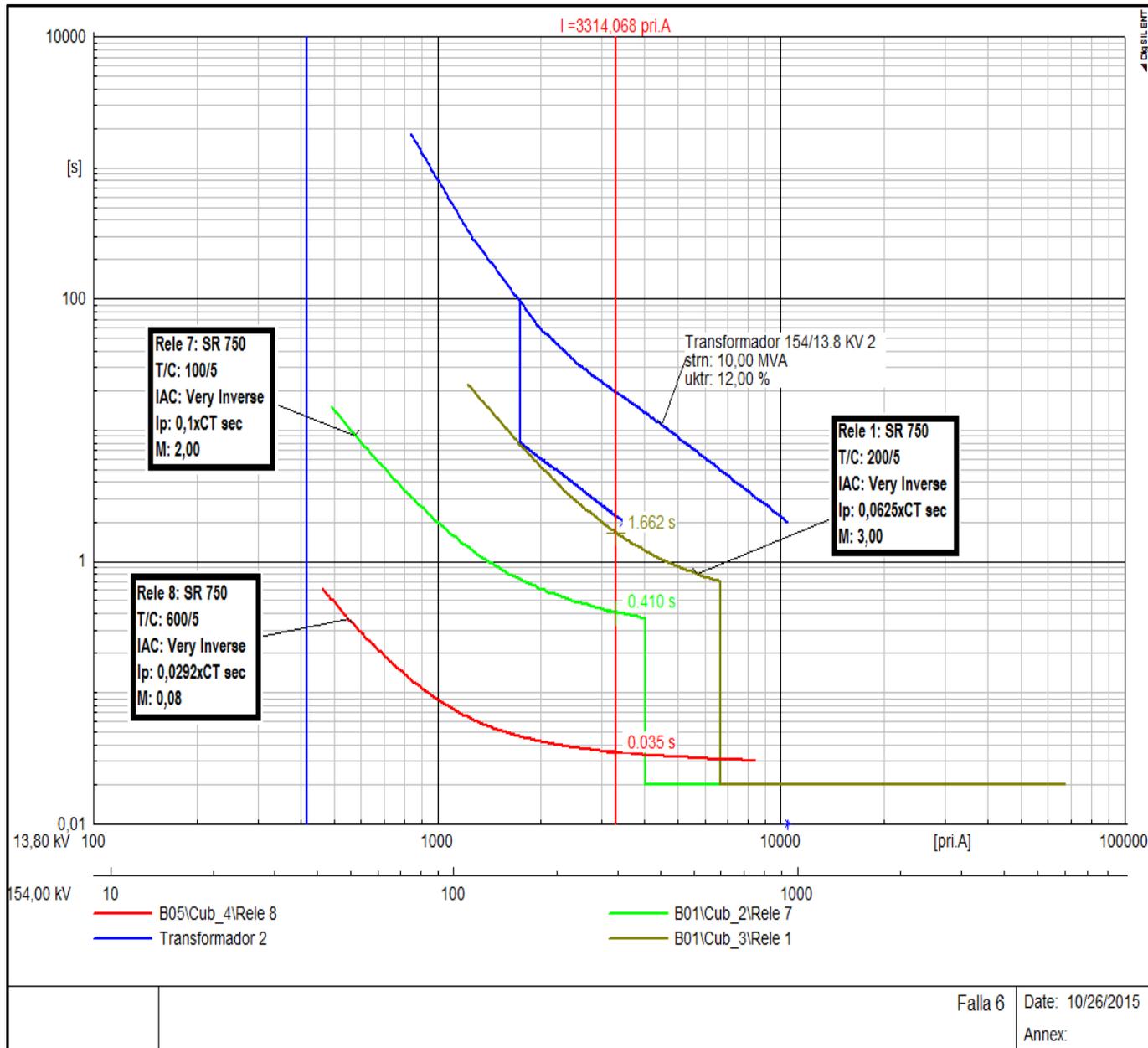


Figura 3.19: Carta de Coordinación propuesta para el Relé 7

3.3.10 Análisis de operación del Relé 8

Al observar el diagrama unilíneal de la figura 3.20 y extrayendo la información actual de los relés mostrada en la Tabla 3.1, a continuación se va a realizar el análisis de operación actual del relé.

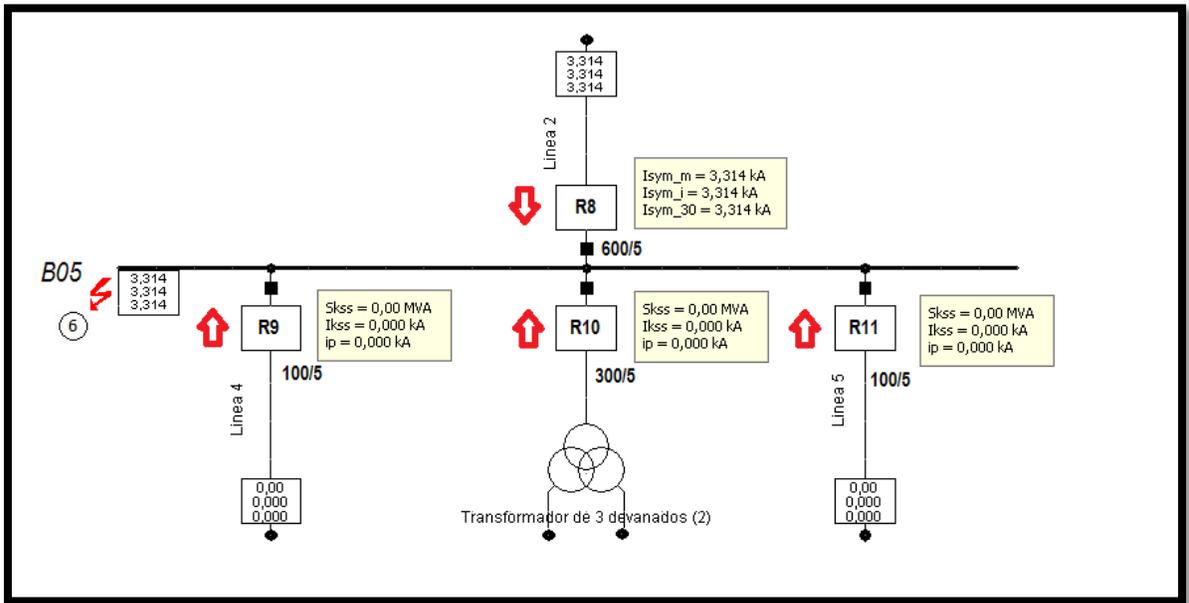


Figura 3.20: Diagrama unilineal en DIGSILENT para falla en barra B05.

En relación a la información de la tabla 3.10, para la falla trifásica en la barra B05, el relé 8 detecta la corriente de falla, dando la señal de apertura instantánea al interruptor asociado, eliminando el aporte de la red eléctrica a la falla

Tabla 3.10: Tiempo de operación de la protección

Designación	I_{falla} (kA)	T_{op} (seg)	Condición
R8 SW 8	3,314	0,092 0,1	Phase-OC-51
R7(respaldo a R8) SW 7	3,314	0,410 0,1	Phase-OC-51
R1(respaldo a R8) SW 1	3,314	1,936 0,1	Phase-OC-51

Por otro lado en la figura 3.21 se presenta la carta de coordinación, estableciendo la correcta operación de las protecciones para esta condición de falla.

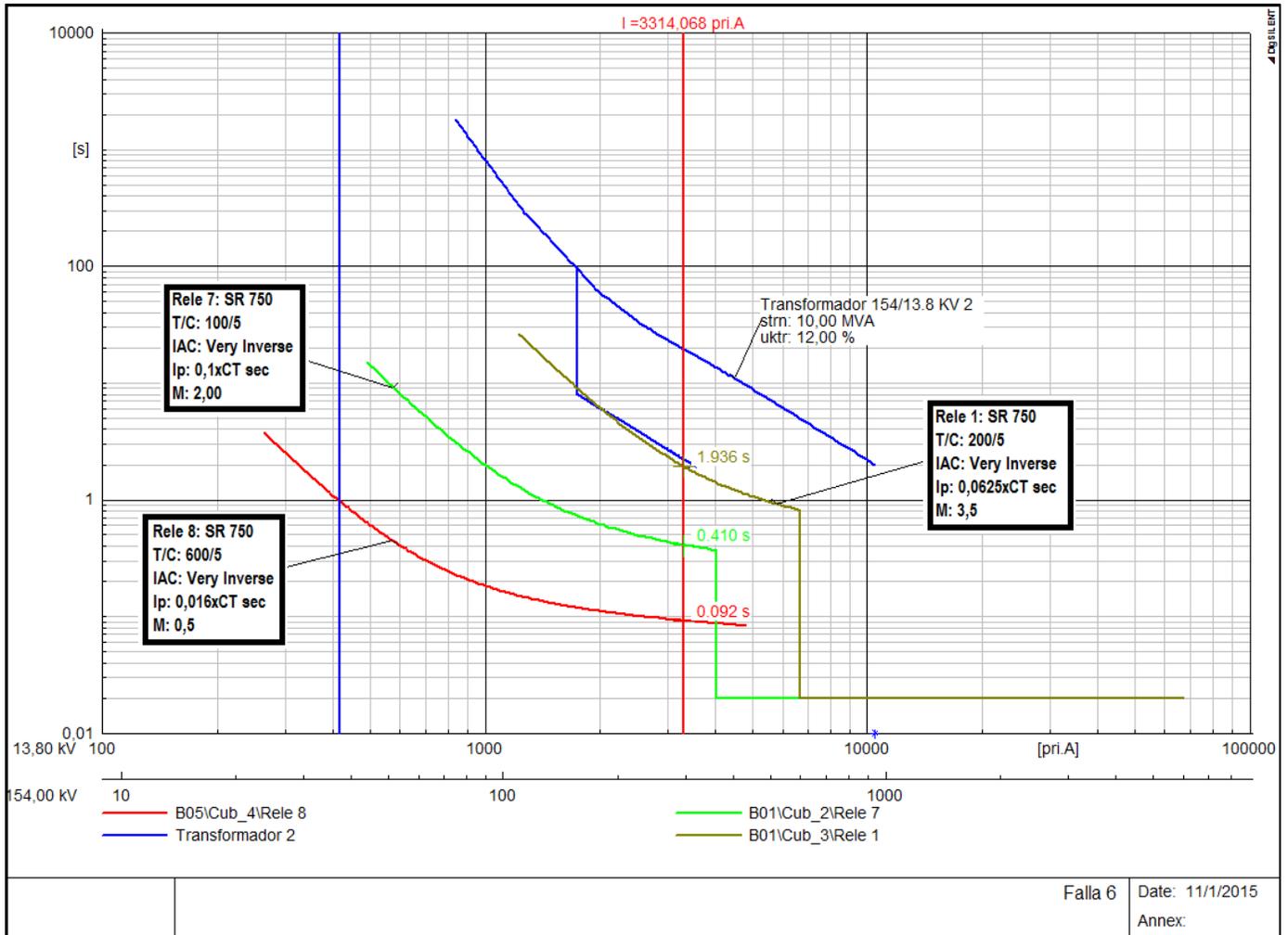


Figura 3.21: Carta de Coordinación actual del Relé 8

Al considerar la operación del relé 8, se puede observar que opera de forma correcta al cortocircuito efectuado en la barra B05, sin embargo al realizar el respaldo a los relés R9, R10 y R11, se puede apreciar que el tiempo de paso de coordinación no es el adecuado, debido a esto se procede a realizar una nueva propuesta de ajuste para este relé.

3.3.11 Propuesta de ajuste para Relé 8

Al observar el diagrama unilineal de la figura 3.22 y extrayendo la información actual de los relés mostrada en la tabla 3.1, a continuación se va a realizar el análisis de operación actual del relé.

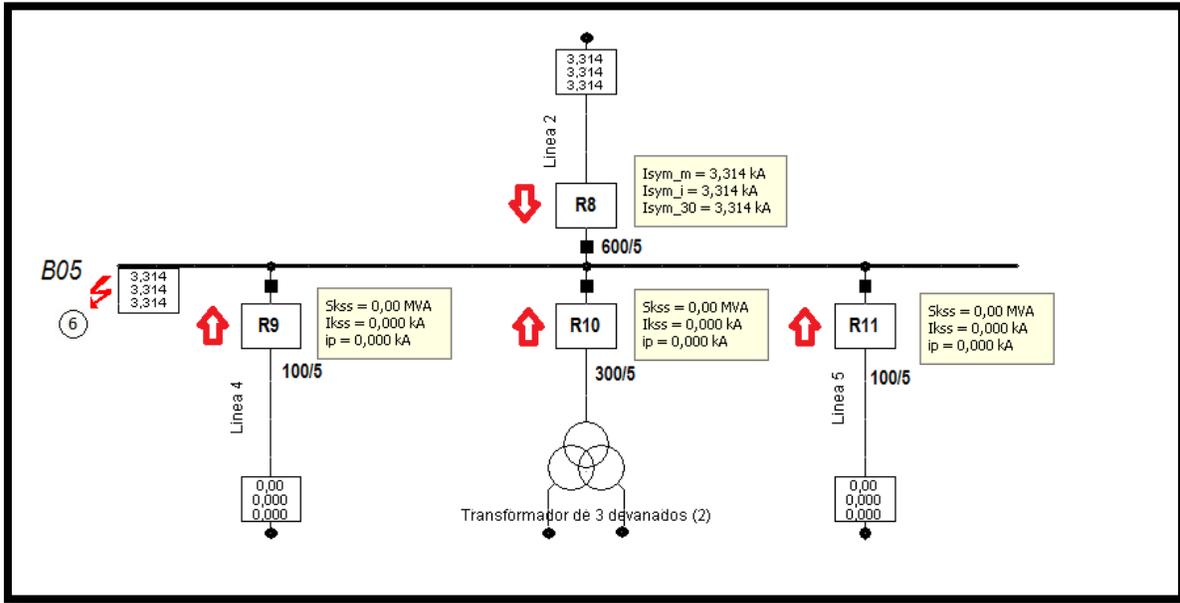


Figura 3.22: Diagrama unilineal en DIGSILENT para falla en barra B05.

En relación a la información de la tabla 3.11, para la falla trifásica en la barra B05, el relé 8 detecta la corriente de falla, dando la señal de apertura instantánea al interruptor asociado, eliminando el aporte de la red eléctrica a la falla

Tabla 3.11: Tiempo de operación de la protección

Designación	I_{falla} (kA)	T_{op} (seg)	Condición
R8 SW 8	3,314	0,035 0,1	Phase-OC-51
R7(respaldo a R8) SW 7	3,314	0,410 0,1	Phase-OC-51
R1(respaldo a R8) SW 1	3,314	1,66 0,1	Phase-OC-51

Por otro lado en la figura 3.23 se presenta la carta de coordinación, estableciendo la correcta operación de las protecciones para esta condición de falla.

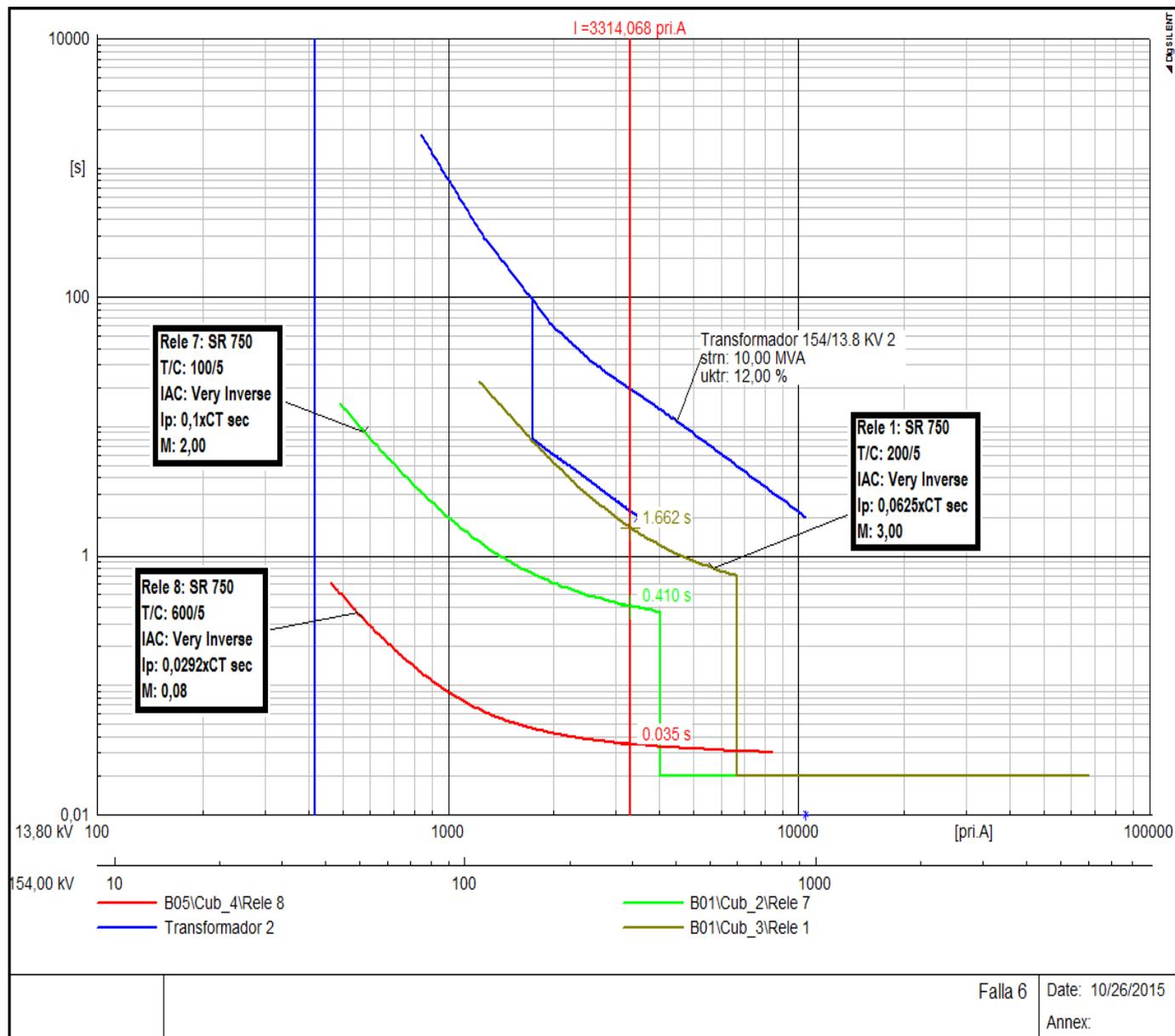


Figura 3.23: Carta de Coordinación propuesta para Relé 8

3.3.12 Análisis de operación del Relé 9

En referencia al diagrama unilineal de la figura 3.24 y extrayendo la información actual de los relés mostrada en la tabla 3.1, a continuación se va a realizar el análisis de operación actual del relé.

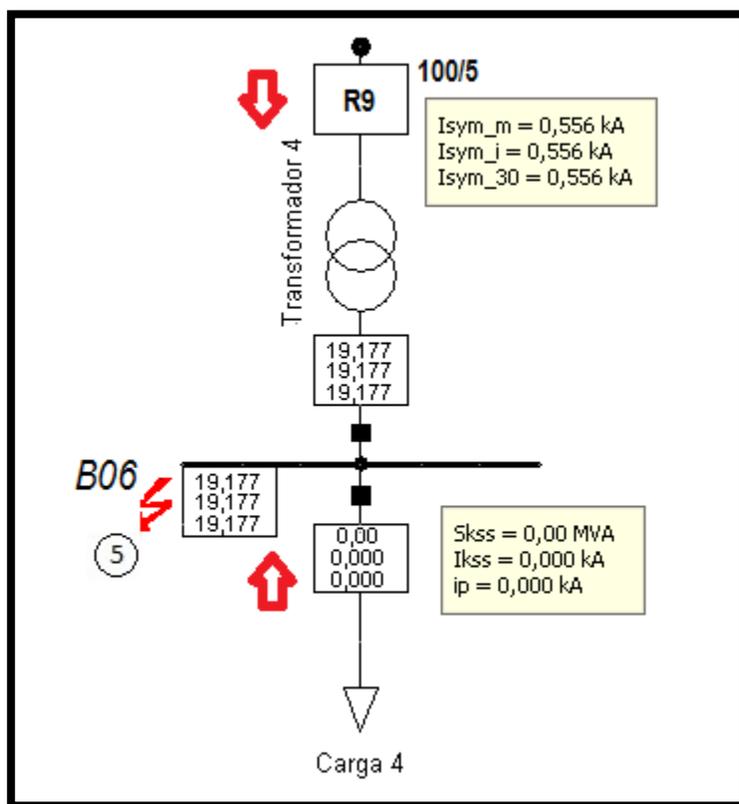


Figura 3.24: Diagrama unilineal en DIGSILENT para falla en barra B06.

En relación a la información de la tabla 3.12, para la falla trifásica en la barra B06, el relé 9 detecta la corriente de falla, dando la señal de apertura instantánea al interruptor asociado, eliminando el aporte de la red eléctrica a la falla

Tabla 3.12: Tiempo de operación de la protección

Designación	I_{falla} (kA)	T_{op} (seg)	Condición
R9	0,556	0,020	Phase-IC-50
SW 9		0,1	
R8(respaldo a R9)	0,556	0,478	Phase-OC-51
SW 8		0,1	

Por otro lado en la figura 3.25 se presenta la carta de coordinación, estableciendo la correcta operación de las protecciones para esta condición de falla.

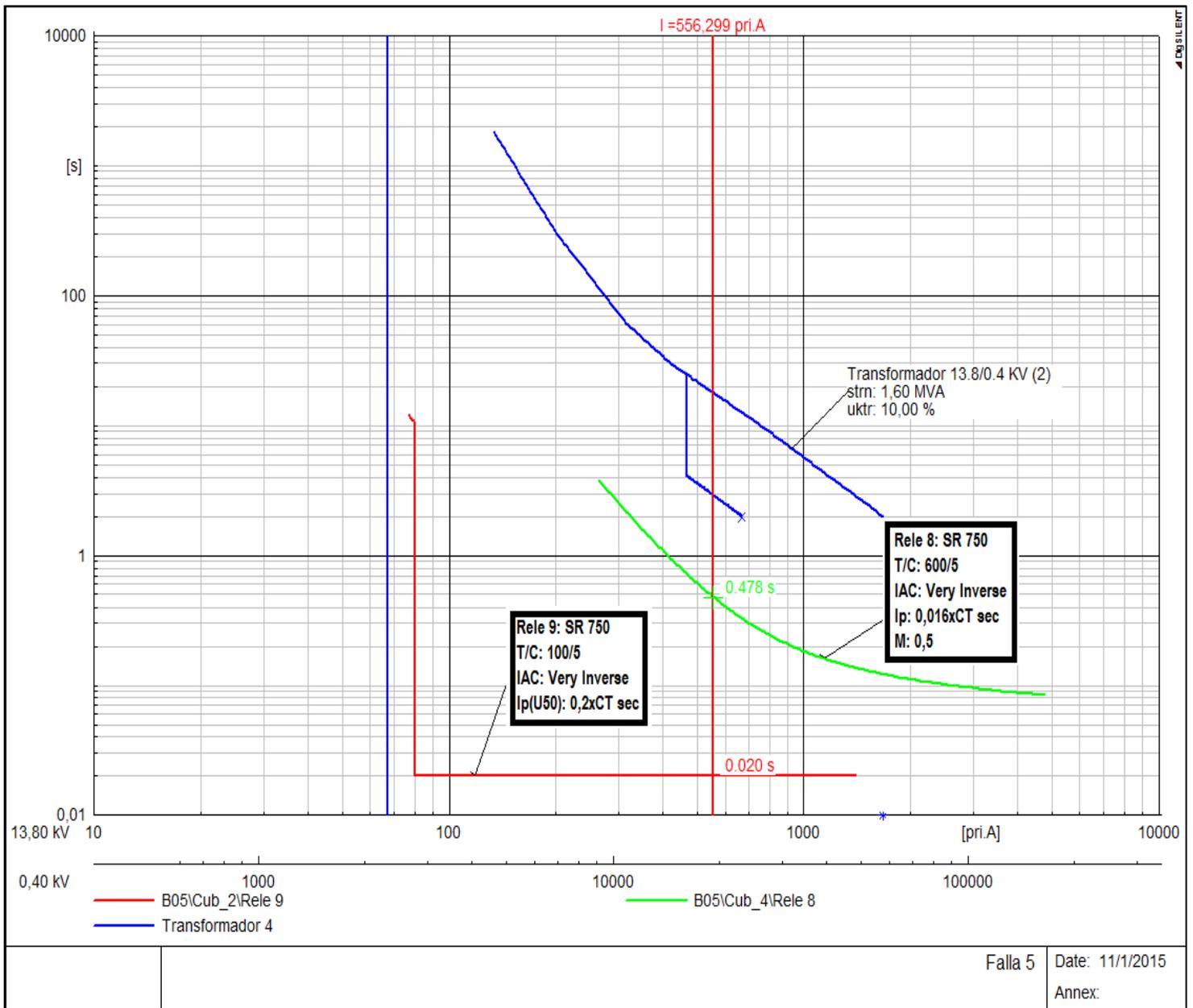


Figura 3.25: Carta de Coordinación actual del Relé 9

Verificando que el relé 9 opera en 0,02 segundos con la unidad instantánea, en este caso no se propone un nuevo ajuste para este relé, pero si considerar la nueva propuesta recomendada para el relé 8 y así reducir el tiempo de paso de coordinación tal como se muestra en la figura 3.26.

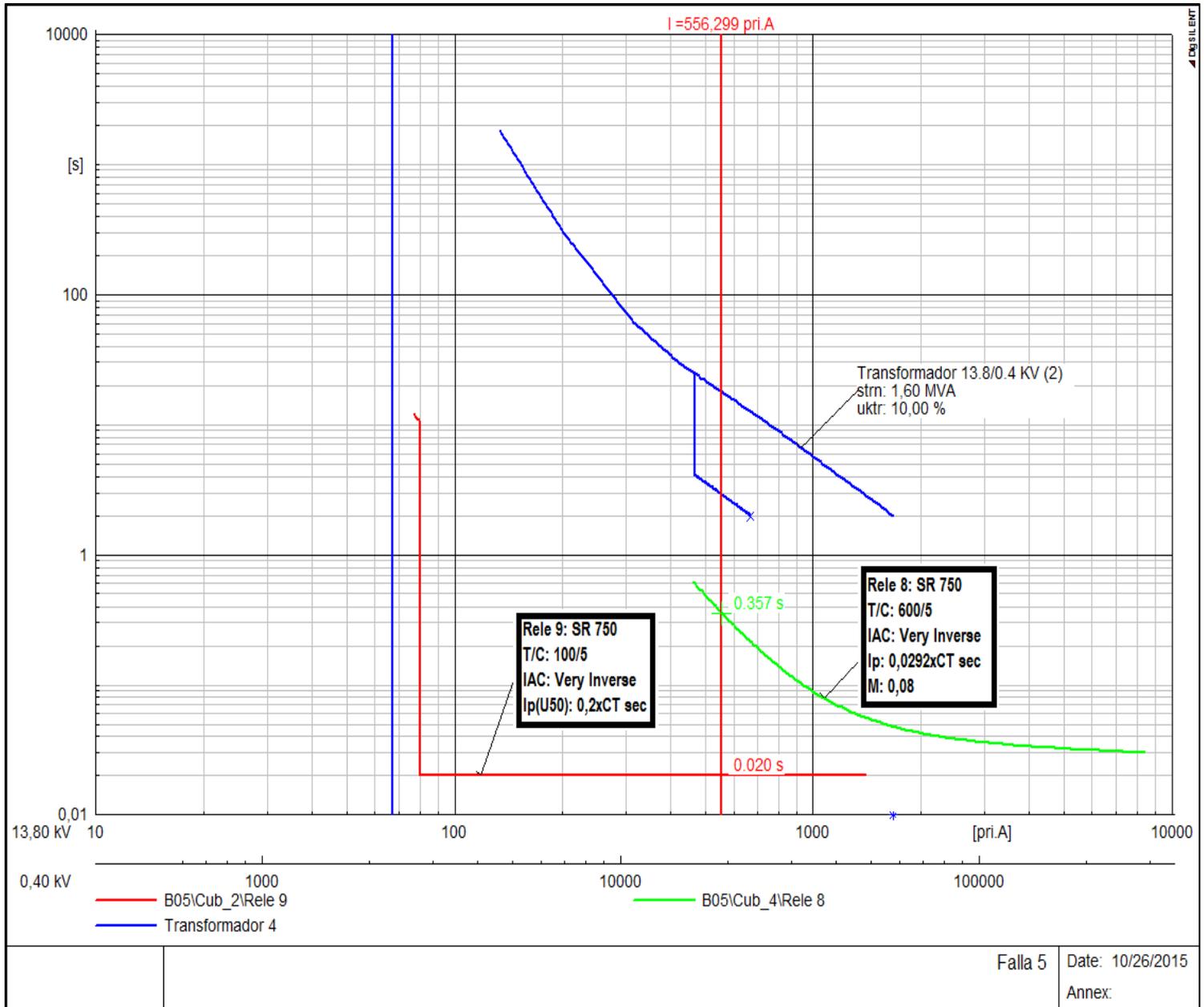


Figura 3.26: Carta de Coordinación propuesta para Relé 9

3.3.13 Análisis de operación del Relé 10

En base al diagrama unilíneo de la figura 3.27, además de la información actual de los relés mostrada en la tabla 3.1, se presenta el análisis de operación actual del relé.

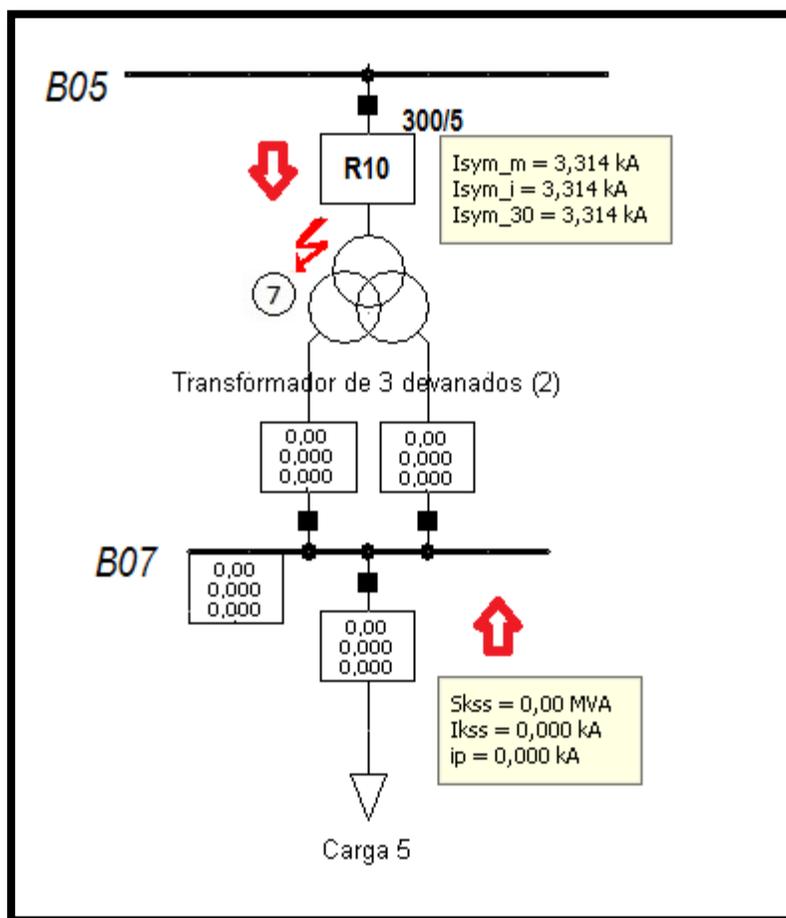


Figura 3.27: Diagrama unilineal de impedancias en DIGSILENT para falla en devanado primario de T3D2.

En relación a la información de la tabla 3.13, para la falla trifásica en el devanado primario del T3D2, el relé 10 detecta la corriente de falla, dando la señal de apertura instantánea al interruptor asociado, eliminando el aporte de la red eléctrica a la falla.

Tabla 3.13: Tiempo de operación de la protección

Designación	I_{falla} (kA)	T_{op} (seg)	Condición
R10	3,314	0,020	Phase-IC-50
SW 10		0,1	
R8(respaldo a R10)	3,314	0,127	Phase-OC-51
SW 8		0,1	

Por otro lado en la figura 3.28 se presenta la carta de coordinación, estableciendo la correcta operación de las protecciones para esta condición de falla.

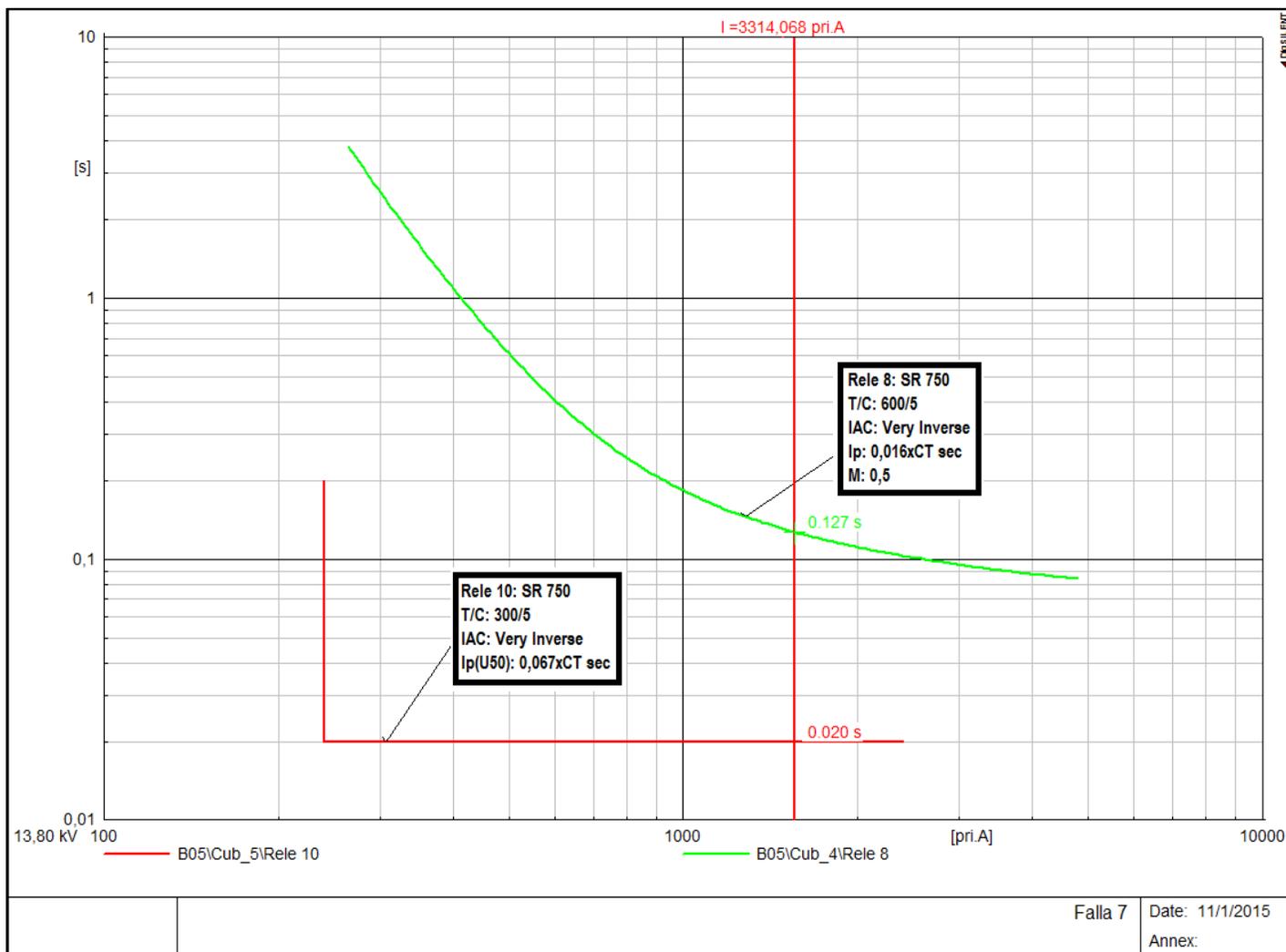


Figura 3.28: Carta de Coordinación actual del Relé 10

Debido a que el relé 10 opera en 0,02 segundos con la unidad instantánea, no se propone un nuevo ajuste para este relé, pero si considerar la nueva propuesta recomendada para el relé 8 y así reducir el tiempo de paso de coordinación tal como se muestra en la figura 3.29.

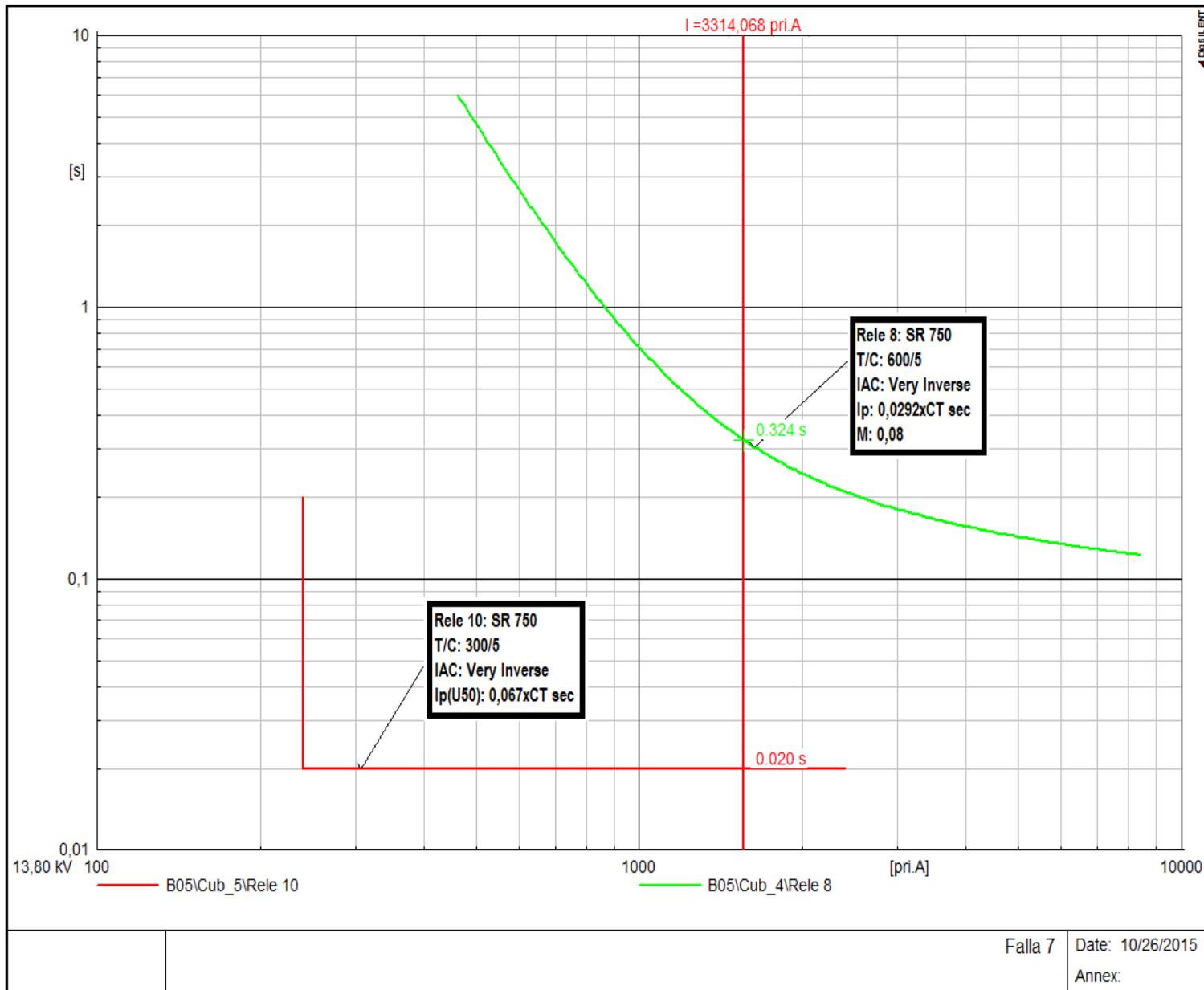


Figura 3.29: Carta de Coordinación propuesta para Relé 10

3.3.14 Análisis de operación del Relé 11

Dado el diagrama unilíneal de la figura 3.30 y considerando la información actual de los relés mostrada en la tabla 3.1, a continuación se muestra el análisis de operación actual del relé.

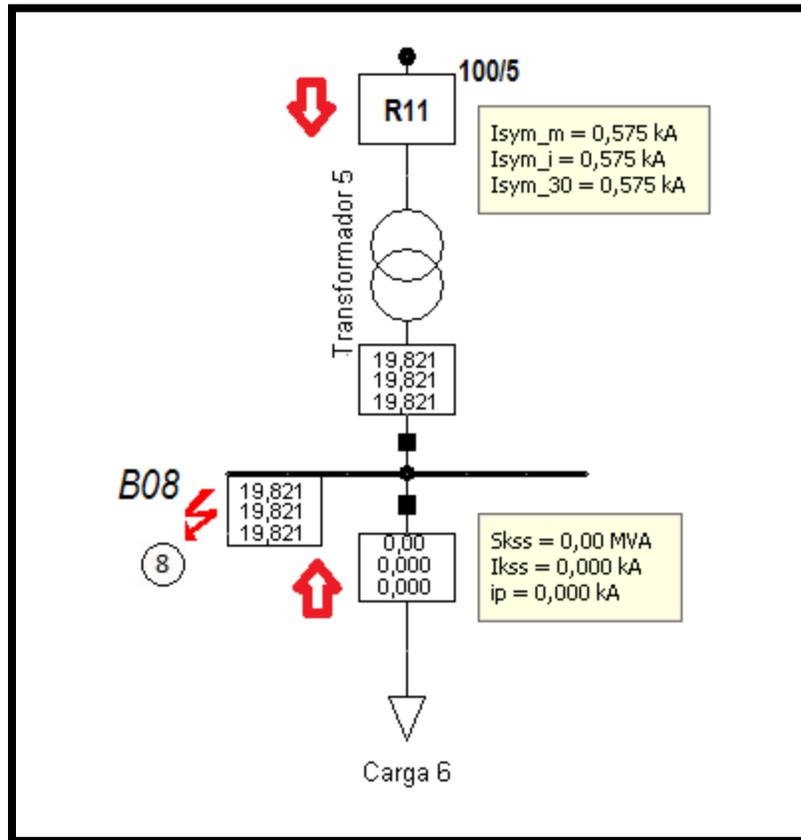


Figura 3.30: Diagrama unilineal en DIGSILENT para falla en barra B08.

En relación a la información de la tabla 3.14, para la falla trifásica en la barra B08, el relé 11 detecta la corriente de falla, dando la señal de apertura instantánea al interruptor asociado, eliminando el aporte de la red eléctrica a la falla

Tabla 3.14: Tiempo de operación de la protección

Designación	I_{falla} (kA)	T_{op} (seg)	Condición
R11	0,574	0,020	Phase-IC-50
SW 11		0,1	
R8(respaldo a R11)	0,574	0,325	Phase-OC-51
SW 8		0,1	

Por otro lado en la figura 3.31 se presenta la carta de coordinación, estableciendo la correcta operación de las protecciones para esta condición de falla.

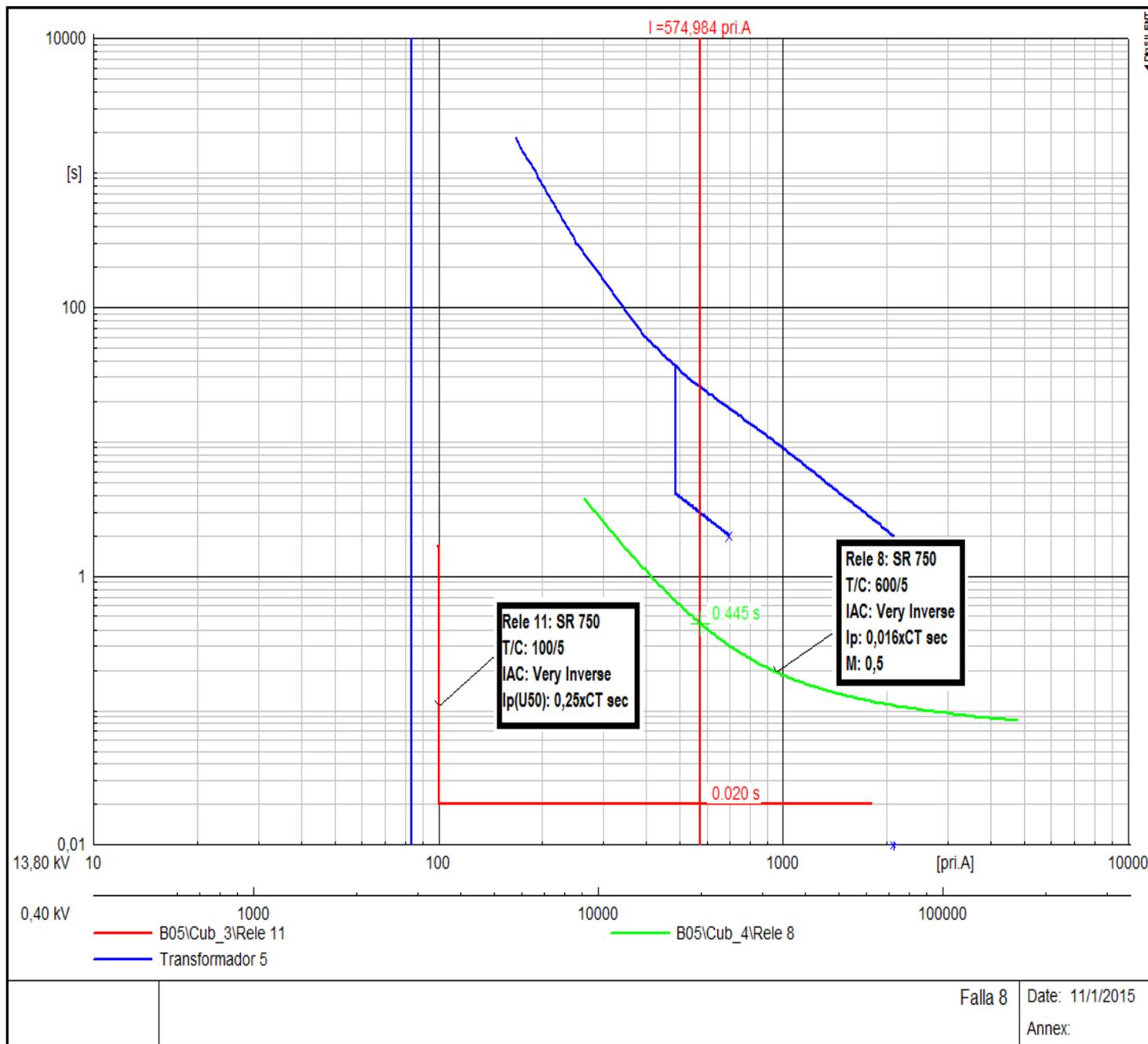


Figura 3.31: Carta de Coordinación actual del Relé 11

Ya que el relé 11 opera en 0,02 segundos con la unidad instantánea, no se propone un nuevo ajuste para este relé, pero si considerar la nueva propuesta recomendada para el relé 8 y así reducir el tiempo de paso de coordinación tal como se muestra en la figura 3.32

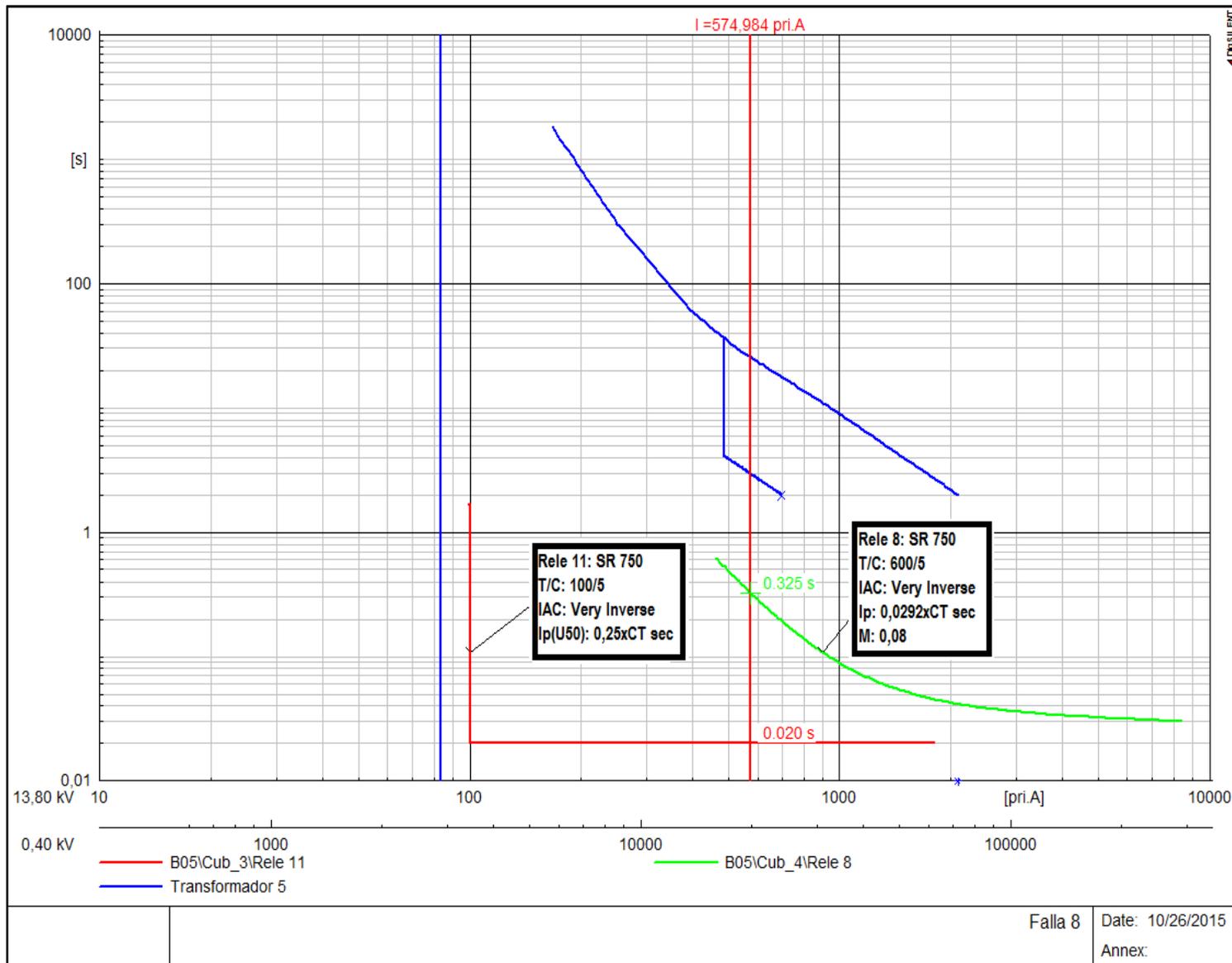


Figura 3.32: Carta de Coordinación propuesta para Relé 11

3.4 Coordinación de protecciones

A continuación en la tabla 3.15 se presenta el resumen de la propuesta de protecciones, para cada uno de los relés que requerían un ajuste más preciso, incorporando su T/C, unidad 51 con su respectivo pickup, lever y tipo de curva, además de la unidad 50.

Tabla 3.15: Tabla resumen de coordinación de protecciones

Relé	T/C	I pickup (51)	M (51)	Tipo de curva	I pickup (50)	M(50)
R1	200/5	0,0625xCT sec.	3	IAC Muy Inversa	0,375xCT sec.	0,00
R2	150/5	0,125xCT sec.	1,8	IAC Muy Inversa	0xCT sec.	0,00
R3	600/5	0,0208xCT sec.	0,22	IAC Muy Inversa	-	-
R4	100/5	0,115xCT sec.	1	IAC Extremadamente Inversa	0xCT sec.	0,00
R5	50/5	-	-	IAC Muy Inversa	0xCT sec.	0,00
R6	250/5	0,048xCT sec.	0,14	IAC Muy Inversa	0,1xCT sec.	0,00
R7	100/5	0,1xCT sec.	2	IAC Muy Inversa	0,1xCT sec.	0,00
R8	600/5	0,029xCT sec.	0,08	IAC Muy Inversa	-	-
R9	100/5	0,175xCT sec.	1	IAC Muy Inversa	0,2xCT sec.	0,00
R10	300/5	0,04xCT sec.	0,14	IAC Muy Inversa	0,067xCT sec.	0,00
R11	100/5	0,225xCT sec.	0,14	IAC Muy Inversa	0,25xCT sec.	0,00

CAPITULO 4 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

En el presente seminario se ha realizado el estudio detallado del sistema de protecciones de una planta química, desarrollando un cálculo de corto circuito en cada una de las barras, para así obtener un adecuado ajuste de las protecciones.

Una vez analizada la red eléctrica, se prosigue con el levantamiento y la estimación de los parámetros de la red asociada, realizando un cálculo de impedancias de cada elemento, con valores “en tanto por uno” empleando una base común de 10 MVA. Con los parámetros definidos, se procedió a evaluar el diagrama unilineal de la red eléctrica en el software POWER FACTORY DIGSILENT.

Con la red eléctrica definida y analizada en el software Digsilent, se procede con el cálculo de cortocircuito trifásico para obtener las corrientes de fallas de la red eléctrica, con sus respectivos aportes, para ser comparados con los resultados del cálculo teórico que se presenta en la Tabla 2.1 que aparece en el capítulo 2. Al respecto se observa que los valores coinciden en ambos métodos de cálculo, esto nos permite continuar con el estudio y coordinación de protecciones.

Para la coordinación se consideran los ajustes obtenidos en terreno, estos se muestran en la tabla 3.1 del capítulo 3, estos son ingresados al software Digsilent, luego para realizar este estudio se aplica una falla trifásica a una barra observando el comportamiento de la protección asociada, esto se presenta en el capítulo 3, además se adjuntan los diagramas con las respectivas protecciones y secuencia de operación junto con la tabla que muestra el tiempo de despeje de la falla y por último la carta de coordinación. Gracias a la carta de coordinación entregada por el software se puede observar el correcto tiempo de coordinación que existe entre las curvas de los relés y esto nos da la seguridad que en caso de que una protección no operase el respaldo se haría efectivo en un tiempo adecuado para no dañar los equipos que componen el sistema, además se puede observar que las curvas de los relés están debidamente ajustadas con respecto a las curvas de daño de los transformadores con lo cual frente a las fallas que podrían ocurrir en el sistema se tiene la certeza de que estos no sufrirán daños.

Para finalizar se recomienda que a futuro se podrían mejorar los ajuste para mejor eficiencia, incorporando un estudio para fallas monofásicas y bifásicas las cuales no están contempladas en el presente seminario.

Para finalizar el estudio del relé SR 750, se realizó una experiencia de laboratorio, la cual se desarrolló en los laboratorios de la Universidad y se pudo concluir:

Que al activar la función direccional en posición “FORWARD” el relé no opera como era de suponer, puesto que el circuito fue realizado para que la corriente fluyera de manera normal desde la fuente hacia la carga.

También, al invertir la conexión de uno de los TC de fase observamos que el relé opero por la función direccional des energizando el circuito con la función “TRIP” y además dando la señal de alarma anteriormente configurada. Al realizar la experiencia con la función direccional en posición “REVERSE”, el relé opera de forma inmediata debido a que la corriente fluía desde la fuente a la carga.

Finalmente se puede apreciar la efectiva respuesta del relé frente a una operación anormal del sistema

BIBLIOGRAFÍA

- [1] GE Power Management (2006). *750/750, Feeder Management Relay Instruction Manual*. [en línea]. USA: General Electric. Disponible en: <https://www.gedigitalenergy.com/products/brochures/750sp.pdf> [2015, 10 de Mayo]
- [2] Cocesa. Tabla especificaciones técnicas conductores aislados tipo XAT.
- [3] Curva característica relación X/R transformadores.
- [4] Martínez Argote, Alfredo. *Cálculo de Caídas de Tensión*. Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería. Universidad del País Vasco. España.
- [5] *IEEE recommended practice for industrial and commercial power systems analysis* (1997). [en línea]. Disponible en: <http://arcadvisor.com/files/GET3550Fapp41-43.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: PARÁMETROS DE TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS

En base a las recomendaciones de la norma IEEE, es posible estimar los parámetros de transformadores de dos devanados. En tal sentido, en la figura A1, se muestra la gráfica de la relación X/R para transformadores.

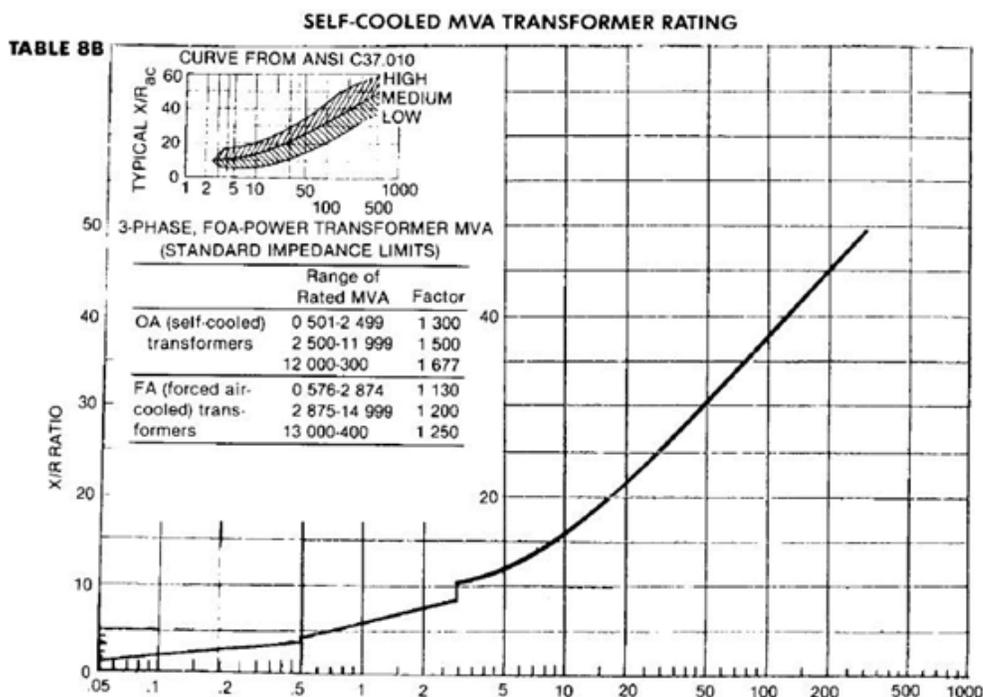


Figura A.1: Grafico relación X/R para transformadores auto enfriados.

Con respecto a la Figura A.1 se estiman los valores de relación X/R para los transformadores que componen la red eléctrica en estudio, comparando la potencia del transformador en la curva para obtener el valor X/R que corresponde a dicha potencia, a continuación se muestran los resultados:

Tabla A.1: Tabla resumen de relación X/R de transformadores

Designación	Potencia [MVA]	Relación X/R
T1	12	18
T2	10	18
T3	1,2	6
T4	1,6	6.5
T5	2	7

ANEXO B: PARÁMETROS DE ALIMENTADORES

En referencia a la información que nos entrega el fabricante COCESA, se ha decidido utilizar el mono conductor de polietileno reticulado (XLPE) para una tensión de 15kV. En tal sentido, en la figura B.1 se muestran los usos, características generales y además de su construcción.

COCESA^{MR}

**MEDIA - TENSION
MONOCONDUCTORES**

COCESA "XAT" y "EAT"

5 - 8 - 15 - 25 - 28 y 35 KV.

<p>USOS: En general para distribución en alto voltaje, alimentación de transformadores, motores y equipos de alta tensión. Pueden instalarse en ductos, directamente en tierra o en bandejas al aire libre, en lugares secos o húmedos. Conductores EAT son apropiados para lugares donde sea necesaria una gran flexibilidad.</p> <p>CARACTERISTICAS GENERALES: El polietileno reticulado (XLPE) de los XAT, y el EPR o EPDM de los EAT, usados en la aislación de estos cables, les permite operar en forma continua a temperatura del conductor de 90°C para operación normal; 130° C para sobrecarga de emergencia y 250° C para condiciones de cortocircuito. Además de lo anterior, estos conductores poseen las siguientes características: Buena resistencia a la tracción. Excelentes propiedades contra el envejecimiento por calor. Alta resistencia al impacto y a la abrasión. Excelente resistencia a luz solar y a la intemperie. Altísima resistencia a la humedad, excelente resistencia al ozono, ácidos, álcalis y otras substancias químicas a temperaturas normales. Buena resistencia a los aceites y grasas. Baja constante dieléctrica y factor de potencia. Alta resistencia dieléctrica y gran resistencia de aislación. Alta flexibilidad (EAT).</p> <p>CONSTRUCCION: Debido a que existen diferentes tipos de cables XAT y EAT, a continuación se define la construcción general de un cable de media tensión. Posteriormente, en el cuadro N° 1, se pueden observar las diferencias constructivas de cada uno de los diferentes tipos.</p> <p>CONDUCTOR: Cable de cobre blando compactado o comprimido.</p> <p>CAPA SEMICOND. INTERIOR: Polietileno semiconductor extruido aplicado sobre el conductor.</p> <p>AISLACIÓN: Polietileno reticulado (XLPE) color natural, para los XAT. EPR o EPDM color natural, para los EAT. Nivel de aislación de 100 o 133 %.</p>	<p>PAG. 2-1 REV. 2</p> 
--	--

Figura B.1: Características de conductores "XAT" y "EAT".

En el capítulo 1 se va a utilizar el mono conductor de polietileno reticulado (XLPE) de los XAT en una tensión de 15 KV.

Tabla B.1: Tabla para conductores de media tensión XAT mono conductores en 15 KV y nivel de aislación 100%

AWG	CONST. NºHebras Ø mm	ESP. AISL mm	DIAM. AISL. mm	ESP. CUB. mm	DIAM. EXT. mm	PESO APROX. Kg/Km	CORRIENTE MAXIMA AMPERES				REACT. INDUCT.		CAPACID. uF/Km	
							* DUCTO				Ducto no magnet.			Bandeja Ohm/Km
							t° 20°C	TIERRA t° 20°C	CONDUT t° 40°C	BANDEJAS t° 40°C	Ohm/Km			
2	7 x 2,47	4,45	17,32	2,03	24,35	837	155	210	150		0,166		0,149	
1	19 x 1,69	4,45	18,12	2,03	25,15	942	175	240	170		0,160		0,159	
1/0	19 x 1,89	4,45	19,08	2,03	26,11	1.065	200	275	195	260	0,154	0,280	0,172	
2/0	19 x 2,13	4,45	20,11	2,03	27,14	1.225	230	310	225	300	0,149	0,273	0,185	
3/0	19 x 2,39	4,45	21,33	2,03	28,36	1.418	260	355	260	345	0,143	0,266	0,201	
4/0	19 x 2,68	4,45	22,67	2,03	29,70	1.654	295	405	295	400	0,138	0,259	0,218	
250	37 x 2,09	4,45	23,84	2,03	30,87	1.865	325	440	330	445	0,134	0,254	0,233	
300	37 x 2,29	4,45	25,53	2,03	33,11	2.186	358	488	363	498	0,132	0,252	0,254	
350	37 x 2,47	4,45	26,71	2,03	34,29	2.447	390	535	395	550	0,129	0,248	0,269	
400	37 x 2,64	4,45	27,83	2,03	35,41	2.709	428	593	438	618	0,126	0,245	0,283	
500	37 x 2,95	4,45	29,82	2,03	37,40	3.224	465	650	480	685	0,122	0,240	0,308	
600	61 x 2,52	4,45	32,90	2,03	40,48	3.781	505	712	522	765	0,117	0,233	0,346	
650	61 x 2,62	4,45	33,79	2,03	41,37	4.030	525	743	543	805	0,115	0,231	0,358	
700	61 x 2,72	4,45	34,66	2,03	42,24	4.288	545	774	564	845	0,114	0,230	0,369	
750	61 x 2,82	4,45	35,50	2,03	43,08	4.554	565	805	585	885	0,113	0,229	0,379	
800	61 x 2,91	4,45	36,32	2,79	45,51	4.960	580	830	603	920	0,115	0,231	0,389	
900	61 x 3,09	4,45	37,88	2,79	47,07	5.481	610	880	639	990	0,113	0,228	0,409	
1000	61 x 3,25	4,45	39,31	2,79	49,03	6.015	640	930	675	1.060	0,112	0,227	0,427	

Con respecto a la tabla B.1 se van a utilizar los conductores 4/0 y 500 MCM extrayendo de la tabla los datos de corriente máxima en amperes para ducto a 20° C y reactancia inductiva en ducto no magnético.

ANEXO C: DESCRIPCIÓN DE RELÉ GE MULTILÍN SR750

Introducción

En los sistemas de distribución de energía se utilizan celdas de media tensión para la administración adecuada de la energía eléctrica proveniente de la red de transmisión. Cada celda suele ser un cuarto metálico que contiene elementos de maniobra eléctrica. Todas las celdas cuentan con un interruptor de potencia, en donde éste controla el flujo de corriente en caso de fallas o mantenimiento. Los relés multifunción son equipos electrónicos diseñados para controlar el accionamiento del interruptor de potencia y ejecutar funciones de protección a los dispositivos conectados aguas abajo del interruptor. En el presente seminario se utilizará el relé GE (General Electric) MULTILIN SR 750, a continuación, se describirán las características de éste relé y sus funciones.

Descripción de relé GE MULTILIN SR750

El relé GE MULTILIN SR750 es un dispositivo electrónico digital diseñado principalmente para la protección, monitoreo y medición de alimentadores de distribución además permite la gestión y protección de respaldo para barras, transformadores y líneas de potencia. Una de sus características es que registra la frecuencia del sistema de potencia y ajusta el rango de muestreo para mantener la precisión en todo momento.

El SR750 proporciona protección de sobre intensidad, esta incluye protección de fase, neutro, tierra, tierra sensible, y secuencia inversa para sobre intensidad temporizada e instantánea, además de control direccional.

Gracias a sus entradas y salidas lógicas programables, el relé SR750 puede ser configurado fácilmente para realizar las aplicaciones específicas de cada usuario.

Funciones de protección y control del relé SR750

El relé GE SR750 consta de diversas funciones de protección y de control que pueden operar en conjunto o de manera individual según el funcionamiento que tenga y requiera el sistema. A continuación se señalan algunas de las funciones de protección y de control que posee.

Función de protección de sobre corriente temporizada

El relé GE SR750 dispone de dos elementos de sobre corriente temporizado de fase. Cada uno de estos elementos de sobre corriente temporizada de fase incluye detectores de nivel para

cada fase. Asimismo, el relé SR750 dispone de dos elementos de sobre corriente temporizada de neutro, y un elemento de sobre corriente temporizada diferente para tierra, tierra sensible y secuencia inversa.

Cada elemento de sobre corriente temporizada posee las siguientes características programables:

- Nivel de corriente de arranque para disparo, alarma o control.
- Elección entre 3 familias de curvas más dos del tipo personalizadas (Flexcurve).
- Característica temporizada de reposición instantánea o lineal.
- Frenado de tensión.

Los tipos de curva que posee el relé SR750 para la función de sobre corriente temporizado se muestran en la tabla 2.1.

Tabla C.1: Tipos de curvas para la función de sobre corriente.

ANSI	IEC	IAC	PERSONALIZADAS
Extremadamente inversa.	Curva A (BS142)	Extremadamente inversa.	FlexCurve A.
Muy inversa.	Curva B (BS142)	Muy inversa.	FlexCurve B.
Normalmente inversa.	Curva C (BS142)	Inversa.	
Moderadamente inversa.	Inversa corta.	Inversa corta.	
De tiempo definido.			

Función de protección de sobre corriente instantánea

Al igual que en la protección de sobre corriente temporizada el relé SR750 dispone de dos elementos de sobre corriente instantánea de fase. Cada uno de ellos incluye detectores de nivel para cada fase. Asimismo, el relé SR750 dispone de dos elementos de sobre corriente

instantánea residual de neutro, y un elemento de sobre corriente instantánea diferente para corriente residual de tierra, corriente residual de tierra sensible y corriente de secuencia inversa. Cada uno de ellos dispone de intensidad de arranque programable, un periodo de tiempo durante el cual la corriente debe exceder el valor de arranque para el funcionamiento, y el número mínimo de fases necesarias para la maniobra.

Función de control direccional de fase

El GE SR750 posee un control direccional de sobre corriente para la protección de alimentadores que cuentan con fuente múltiple, cuando se necesita limitar el disparo del relé a fallas en una única dirección de corriente. El control direccional se incorpora en el relé para cada fase. Si se habilita el control direccional, los elementos de sobre corriente se bloquearán si la corriente se encuentra en la dirección de no-disparo como se puede observar en la figura 2.1.

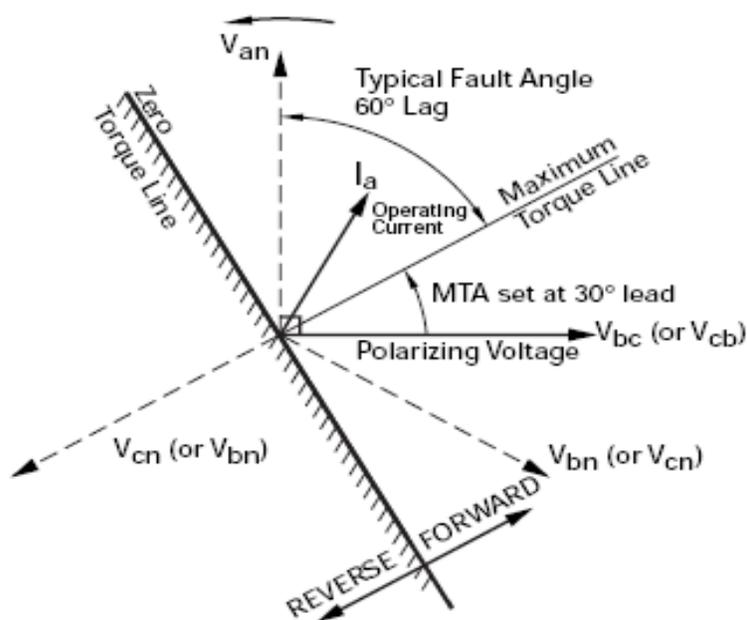


Figura C.2: Esquema de función direccional de fase para la fase (A).

La figura C.2 hace referencia al diagrama fasorial correspondiente al elemento direccional de fase utilizando la fase A como referencia y la tensión V_{bc} como tensión de polarización.

Función de control direccional de neutro

En el caso del direccional de neutro, la corriente residual de los transformadores de corriente de fase se utiliza como corriente de operación. Esta unidad de protección puede ser polarizada por tensión, intensidad o ambas. El elemento de corriente utiliza un transformador de corriente en la ruta de retorno de tierra para polarizar. El elemento de tensión utiliza la tensión de secuencia homopolar calculada como tensión de polarización. En esta protección el ángulo de torque máximo se puede programar según se requiera.

Funciones de protección de mínima y máxima tensión, tensión de secuencia inversa y de desplazamiento de neutro

Cuando la tensión del sistema que se está protegiendo disminuye por debajo de un ajuste especificado para un periodo de tiempo concreto, las características de protección de mínima tensión pueden provocar un disparo, generar una alarma, o enviar una señal de TRIP a un sistema de control externo. Los elementos de mínima tensión son inhabilitados a no ser que los niveles de tensión estén por encima de un valor programado.

Las características de protección de máxima tensión pueden provocar un disparo o generar una alarma cuando la tensión excede un determinado ajuste de tensión para un periodo de tiempo específico.

El elemento de tensión de secuencia inversa actúa del mismo modo que el elemento de máxima tensión, en el valor calculado de V_2 de barra.

El elemento de tensión de desplazamiento de neutro actúa del mismo modo que el elemento de máxima tensión, en el valor calculado de $3V_0$ de barra.

Función de protección de mínima frecuencia

Este elemento de protección actúa cuando la frecuencia disminuye por debajo de un umbral programado para un intervalo determinado. Los elementos de mínima frecuencia están inhabilitados a no ser que la tensión de la fase A sea superior a un umbral determinado.

Función de protección de máxima frecuencia

El relé supervisa el sistema buscando condiciones de máxima frecuencia. Por ejemplo en algunas aplicaciones en el caso de detectar esta condición de máxima frecuencia, el relé puede utilizarse para reducir rápidamente la velocidad de una turbina hasta llegar a su nivel normal.

Múltiples grupos de ajustes

El relé SR750 ofrece una función con cuatro grupos de ajustes de protección y que para su utilización cada grupo activo puede seleccionarse mediante un ajuste o entrada lógica.

Función de comprobación de sincronismo

El cierre de interruptor puede ser supervisado por los ajustes de DV, Df y DHZ. Asimismo, se ofrecen alternativas de barra muerta.

Función de control de Arranque en Frío

Cuando se cierra un interruptor tras un corte de electricidad prolongado, la corriente de magnetización del alimentador y la de aceleración del motor pueden superar el ajuste de alguna función de protección. Estas funciones de protección no serán necesarias para el disparo del alimentador durante un tiempo, de modo que pueden ser bloqueadas automáticamente o manualmente durante un periodo determinado después del cierre del interruptor como se muestra en la figura 2.2.

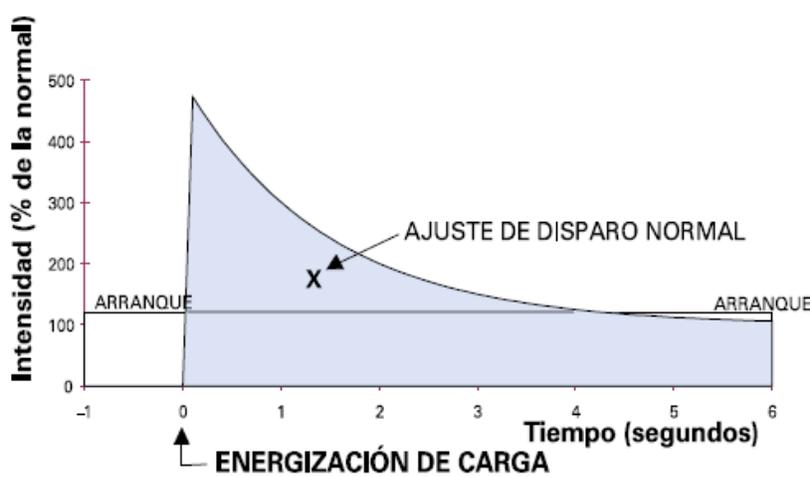


Figura C.3: Curva de Arranque en frío

Función de control de cierre manual

La corriente de magnetización en algunos alimentadores puede provocar el disparo de la función de sobre corriente. Podría resultar necesario bloquear o alterar algunas características de la protección de sobre corriente durante ciertos periodos. Tras el cierre manual del interruptor, el relé SR750 puede bloquear cualquier elemento de sobre corriente instantánea, o elevar el valor de arranque de cualquier elemento de sobre corriente temporizada, para un intervalo de tiempo programable, pasado este tiempo, se restablecerá el funcionamiento normal del equipo.

Función de restablecimiento automático

El relé SR750 puede programarse para cerrar automáticamente el interruptor después de un disparo por una mínima tensión o una mínima frecuencia, y también cuando estos parámetros vuelvan a la normalidad.

Función de transferencia de Barras

Esta unidad de control está provisto de tres relés, 2 para las líneas de llegada y uno en el seccionador (normalmente abierto) de la barra. Estos relés pueden realizar la transferencia en pérdidas de alimentación.

Medidas y monitorización del relé SR750

El relé SR750 consta de diversas características que permiten una mejor medición y monitorización del sistema eléctrico, con ellas se logra obtener una mayor información de los datos medidos y permite llevar un mejor control de las funciones ante cualquier falla. A continuación se señalan algunas de las características tanto de medición como de monitorización que posee el relé SR750.

Condiciones del interruptor

El relé SR750 incorpora un esquema tradicional de falla de interruptor con un temporizador supervisado por corriente a través del interruptor. Puede generarse una alarma cuando el relé detecta que no está presente la corriente de supervisión. Del mismo modo, también podrá

generarse una alarma en caso de una falla de respuesta a una señal de apertura o cierre en un tiempo programado.

El relé SR750 calcula una estimación de la carga por fase en los contactos del interruptor, integrando la corriente de arco que pasa a través de los contactos mientras estos se abren. Cuando el umbral de mantenimiento del interruptor se sobrepasa, el relé puede provocar una alarma.

Falla de transformador de tensión

La característica de falla de transformador de tensión inspecciona cada fase de tensión de entrada. Si se detecta una falla, se genera la condición de alarma, y los relés de salida programados señalan una salida. Una situación en la que todas las tensiones de fase caen por debajo de un 10% del valor nominal no se considera falla de este tipo, ya que puede tratarse simplemente de un circuito con fuente des energizada.

Factor de potencia

El relé SR750 monitoriza el factor de Potencia y permite dos pasos de cambio de capacidad para compensación del factor de potencia. Dos elementos independientes monitorizan el factor de potencia, cada uno con un arranque, caída y temporizado programable.

Monitorizando el factor de potencia, el relé SR750 puede ayudar a minimizar tanto los costos como las pérdidas de tensión.

Entrada analógica

Cualquier cantidad externa puede monitorizarse mediante una entrada de corriente auxiliar. Se dispone de dos elementos de monitorización del nivel de entrada analógica, y dos elementos de la derivada.

Cuando la cantidad medida excede el nivel de arranque, el relé puede provocar una alarma, o bien señalar una salida.

Contador de disparos

El relé SR750 registra el número de operaciones de disparo del interruptor. Este valor puede visualizarse para realizar cálculos estadísticos, especialmente para unidades que no estén equipadas con contadores de operación.

Medida

El relé SR750 realiza una medida discreta precisa de los siguientes valores:

- Valor real de V, A, Hz, W, Wh, var, varh, VA, FP.
- Costo de watts/hora.
- Presentación por fasores de V e I.
- Componentes simétricas de V e I.
- Tensión de línea (sincro): tensión de paso, frecuencia, y diferenciales.
- Porcentaje de carga-disparo.
- Entrada analógica.
- Demanda de operación y máxima: A, MW, MVAR, MVA.

Se ofrecen ajustes para permitir al usuario una simulación de tres técnicas de medida de la demanda utilizadas normalmente por las compañías eléctricas.

Localizador de fallas

Mediante un cálculo se determina el tipo de falla a partir de los datos obtenidos, la distancia y la impedancia a la falla. El relé SR750 tiene la capacidad de almacenar un registro de las 10 últimas fallas.

Registro de eventos

El relé SR750 captura y almacena los últimos 128 eventos, recogiendo datos como la fecha, hora, causa y parámetros del sistema además estos eventos almacenados por el relé pueden ser registrados selectivamente por categorías, de modo que se recojan únicamente los eventos más importantes y que sean de interés para el operador. Gracias al IRIG-B, varios relés pueden ser coordinados dentro de un milisegundo.

Memoria de Rastreo

El relé SR750 dispone de un bloque de memorias volátiles configurables para recoger muestras de la tensión y corriente de entrada (CA), y el estado de las entradas lógicas y relés

de salida. Esta memoria puede configurarse entre los rangos de 2 a 16 bloques con 128 o 16 ciclos de datos de frecuencia de potencia respectivamente. La cantidad de datos registrados antes del arranque es programable. Los registros de la memoria de rastreo pueden arrancarse al operar determinadas características o entradas lógicas.

Cargador de datos

Un bloque de memoria configurable ofrece la capacidad de registrar 8 canales de cualquier parámetro medido o calculado. En modo continuo, esta función puede programarse para almacenar desde 68 segundos de datos registrados cada ciclo de frecuencia de potencia, hasta 24 semanas de datos capturados cada hora.

Simulación

El relé SR750 ofrece un modo de simulación para probar la funcionalidad del relé en respuesta a condiciones programadas, sin necesidad de tensión externa o entrada de corriente. Los parámetros del sistema se introducen como ajustes. Se pueden simular condiciones pre-falla, de falla o post-falla para ejercitar las funciones del relé.

Auto-diagnóstico

El relé SR750 realiza auto-diagnósticos cada vez que es encendido y continuamente durante la operación. Las fallas del relé se dividen en fallas mayores, que pueden inhabilitar las funciones de protección y fallas menores, que simplemente disparan indicadores de advertencia.

ANEXO D: DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DE RELÉ SR750

Introducción

En base al creciente desarrollo tecnológico en los últimos años, se han diseñado nuevas herramientas capaces de facilitar, de gran manera, la interacción entre las personas y su entorno tecnológico. Como es el caso de Enervista, un software desarrollado para interactuar, de manera más fácil, con el relé, ya que se puede obtener información de lo que sucede en tiempo real, además de configurar de forma más eficaz las funciones propias.

En este capítulo se dará una breve descripción del software además de sus beneficios y características claves, posteriormente se presentara la pantalla principal del software Enervista y la definición de sus secciones más importantes.

Descripción del Software del relé SR750

El software Enervista es un potente conjunto de herramientas utilizadas para el completo apoyo y gestión de los relés GE Multilin. Este programa puede utilizarse para comunicarse con el relé y detectar estados, valores en tiempo real, además de visualizar y modificar ajustes. También puede utilizarse para monitorear datos, controlar el interruptor, cargar y descargar ficheros de ajustes, actualizar el firmware, y realizar pruebas en el relé.

Beneficios claves

- Proporciona un método sencillo e intuitivo para la configuración de todos los dispositivos Multilin.
- Asegura software de instalación, manuales y otra documentación de soporte.
- Suministra todas las herramientas necesarias para el análisis de fallas para que el equipo vuelva a funcionar.
- Proporciona la capacidad de gestión de activos y de dispositivos con el clic de un botón.

Características claves

- Configurar y acceder a todos los dispositivos Multilin desde una sola aplicación.
- Crear y editar archivos de ajuste fuera de línea (relé desconectado) o en tiempo real (relé

conectado) directamente a sus relés y medidores.

- Administrar todos los documentos de apoyo en una sola biblioteca de referencia.
 - Recepción automática de firmware, software y avisos de actualización de hardware.
- Manténgase informado con la última innovación y la tecnología en su dispositivo cuando se registra sus productos Multilin.
- Contiene medición en tiempo real, los datos de diagnóstico y mantenimiento de fallas para cada dispositivo conectado.

Conexión del software Enervista con Relé GE SR750

Para realizar la conexión de Enervista con el relé GE SR750 se requiere un cable de comunicación RS232 DB9 (de 9 pines) a USB como el que se muestra en la figura D.1.



Figura D.1: Cable Serie RS 232/USB

Ventana principal del software Enervista 750 Setup.

La ventana principal del software posee ocho secciones importantes que se muestran en la figura D.2:

Las secciones indicadas en la figura D.2 se detallan a continuación:

1. Barra de menú de la ventana principal, en la que se encuentran las pestañas “File”, “Setpoints”, “Actual”, “Commands”, “Communications”, “View” y “Help”.
2. Barra de herramientas de la ventana principal, con opciones de guardado de archivos, carga de archivos, conexión, etc.

3. Ventana de control de ajustes, en la cual se puede navegar por las distintas características y opciones del relé cuando se encuentra conectado y sincronizado con el computador.
4. Botones de acceso rápido para visualización de datos, medición y ajustes de conexión.
5. Barra de estado.
6. Ventana de control de ajustes offline, en la cual se pueden crear archivos de ajuste y parametrización sin necesidad de conexión con el relé, para posteriormente cargarlos a este.
7. Espacio de trabajo con soporte de multi-ventanas.



Figura D.2: Ventana principal de Software Enervista

Acceso rápido

El software Enervista posee un grupo de botones de acceso rápido (ver figura D.3), mediante los cuales se logra un acceso fácil e instantáneo a las funciones más significativas de los relés SR750. Este grupo de botones se encuentra en la parte superior izquierda de la ventana principal del software (letra e. de la figura anterior). Desde este grupo de accesos o botones, el usuario puede seleccionar el relé a examinar.

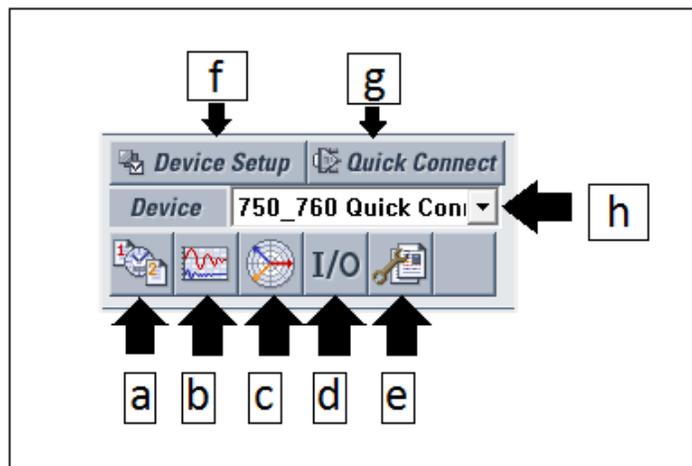


Figura D.3: Botones de acceso rápido

Con referencia a la figura D.3, las funciones de cada botón se detallan a continuación:

- a. Registro de eventos del relé SR750.
- b. Último registro de oscilografía grabado en la memoria del relé.
- c. Visualización gráfica y numérica de los valores medidos por el relé SR750.
- d. Estado de las entradas y salidas del relé SR750.
- e. Resumen de la protección del relé SR750
- f. Seteo de conexión del relé con el computador.
- g. Conexión rápida del relé seleccionado con el computador.
- h. Selección del relé que se desea examinar

ANEXO E: TRABAJO EN LABORATORIO CON RELÉ SR750

Introducción

El siguiente trabajo de laboratorio fue realizado para familiarizarse con el relé SR 750, con el fin de conocer las principales funciones. En tal sentido nos centramos en la unidad direccional de corriente (ANSI-67P).

Unidad direccional de corriente (ANSI-67P)

El elemento direccional de corriente es necesario para protección de múltiples fuentes de alimentación cuando es esencial discriminar entre fallas en diferentes direcciones. Una vez que se activa la unidad direccional, esta determina la dirección en que fluye la corriente de fase, esto quiere decir que la unidad verifica si la corriente de fase fluye de forma normal (Forward) o contraria (Reverse) dependiendo de la polarización que se le haya asignado al relé. Cuando la unidad esta activada su operación depende de tres factores:

- El ángulo de fase entre la señales de operación y polarización.
- El voltaje de operación, el cual debe estar por encima del voltaje establecido.
- El porcentaje de corriente del TC nominal que fluye por el sistema, el cual debe ser mayor al 5%.

Procedimiento para el trabajo de laboratorio

1. Verificar que el tablero este des energizado.
2. Realizar la conexión del diagrama de fuerza y de control, incorporando un variac trifásico.
3. Energizar la carga con 220 V entre fases con la ayuda del variac trifásico.
4. Verificar que la corriente en la carga sea de aproximadamente 0,4 A.
5. Energizar el relé SR 750 con 27 VDC y verificar su normal funcionamiento.
6. Realizar el ajuste de los elementos de entrada al relé abriendo la pestaña “SYSTEM SETUP” del relé, opción “SENSING”, en esta ventana ingresaremos los siguientes parámetros:

SETTING	PARAMETER
Current Sensing	
Phase CT Primary	1000 A
Ground CT Primary	1000 A
Sensitive Ground CT Primary	100 A
Bus VT Sensing	
Bus VT Connection Type	Wye
Bus Nominal VT Secondary Voltage	110.0 V
Bus VT Ratio	2000.0 : 1
Line VT Sensing	
Line VT Connection	Van
Line Nominal VT Secondary Voltage	110.0 V
Line VT Ratio	2000.0 : 1
Power System	
Nominal Frequency	50 Hz
Phase Sequence	ABC
Cost of energy	5.0 cents/kWh

Figura E.1: Ajuste de elemento de entrada al Relé SR 750

Para realizar la experiencia de laboratorio se utilizaron los diagramas de fuerza y de control los que se presentan a continuación.

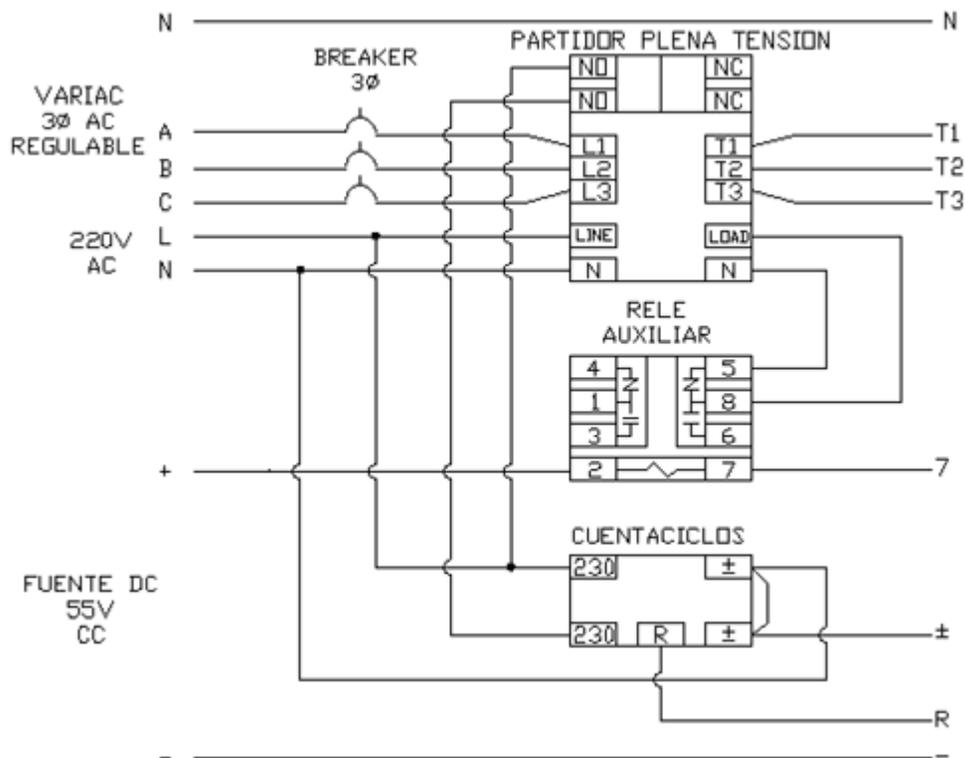


Figura E.2: Diagrama de conexionado de Control

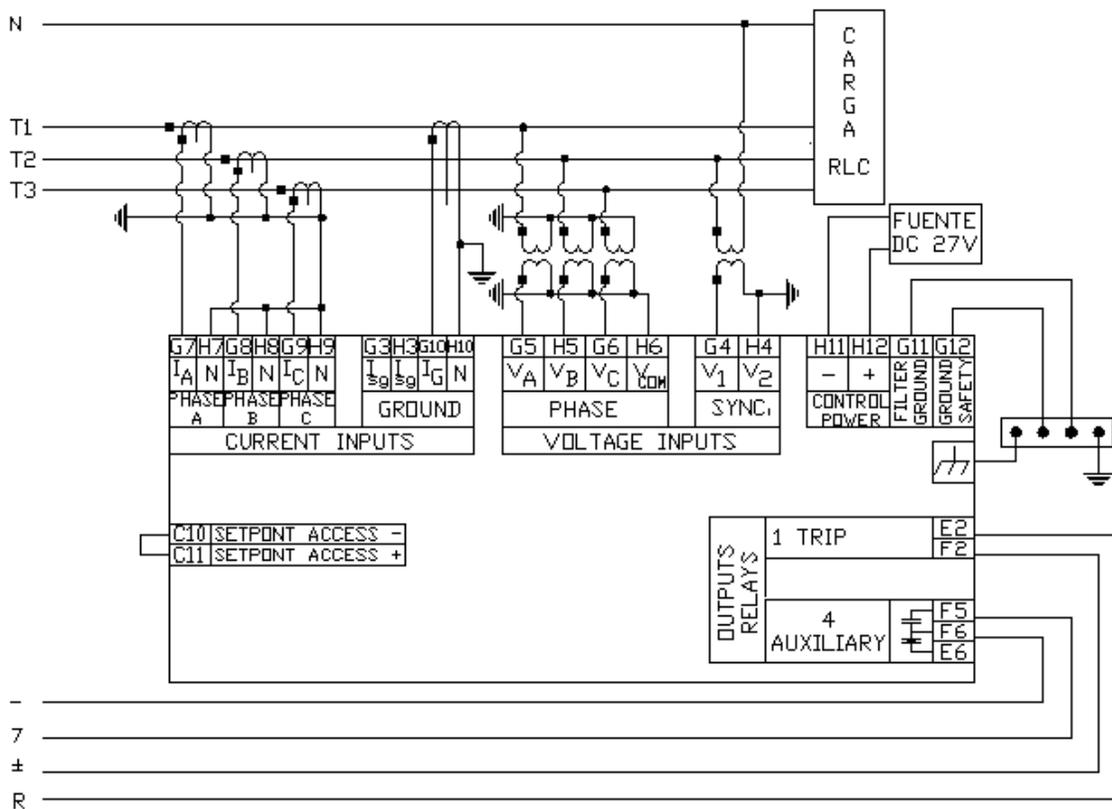


Figura E.3: Diagrama de conexionado de Fuerza

Parametrización del elemento de sobre corriente temporizada (51P)

- Se debe ingresar a la opción “PROTECTION” del relé, luego se ingresa a la opción “CURRENT” y finalmente a la opción “PHASE TIME OVERCURRENT 1”, y luego en esta ventana ajustar los siguientes parámetros:

SETTING[GROUP 1]	PARAMETER
Phase Time Overcurrent 2 Function	Disabled
Phase Time Overcurrent 2: Relay 3	Do Not Operate
Phase Time Overcurrent 2: Relay 4	Operate
Phase Time Overcurrent 2: Relay 5	Do Not Operate
Phase Time Overcurrent 2: Relay 6	Do Not Operate
Phase Time Overcurrent 2: Relay 7	Do Not Operate
Phase Time Overcurrent 2 Pickup(Setpoints)	0.05 x CT
Phase Time Overcurrent 2 Curve	Normally Inverse
Phase Time Overcurrent 2 Multiplier	1.00
Phase Time Overcurrent 2 Reset	Instantaneous
Phase Time Overcurrent 2 Direction	Reverse
Phase Time Overcurrent 2 Voltage Restraint	Disabled

Figura E.4: Ajuste de elemento de sobre corriente temporizado (51P)

Parametrización del elemento de sobre corriente instantánea (50P)

- Se debe ingresar a la opción “PROTECTION” del relé, luego se ingresa a la opción “CURRENT” y finalmente a la opción “INSTANTANEOUS OVERCURRENT 2”, y luego en esta ventana ajustar los siguientes parámetros:

Phase Instantaneous Overcurrent 2	
SETTING[GROUP 1]	PARAMETER
Phase Instantaneous Overcurrent 2 Function	Trip
Phase Instantaneous Overcurrent 2: Relay 3	Do Not Operate
Phase Instantaneous Overcurrent 2: Relay 4	Operate
Phase Instantaneous Overcurrent 2: Relay 5	Do Not Operate
Phase Instantaneous Overcurrent 2: Relay 6	Do Not Operate
Phase Instantaneous Overcurrent 2: Relay 7	Do Not Operate
Phase Instantaneous Overcurrent 2 Pickup(Setpoints)	0.16 x CT
Phase Instantaneous Overcurrent 2 Delay	0.10 s
Phase Required for Operation(O/C 2)	Any One
Phase Instantaneous Overcurrent 2 Direction	Reverse

Figura E.5: Ajuste de elemento de sobre corriente instantánea (50P)

OBS: Con las configuraciones anteriores, el relé supervisa que la corriente fluya hacia la carga. La habilitación de la unidad direccional, tanto para el elemento 50P como para el 51P, se debe realizar al seleccionar una de las 3 opciones disponibles en la pestaña “DIRECTION” de los elementos de sobre corriente instantáneos y con tiempo retardado. Para asignar una dirección de la corriente distinta se debe seleccionar entre las opciones “FORWARD” o “REVERSE”. Al seleccionar la opción “DISABLE” el elemento direccional quedará deshabilitado.

Parametrización del elemento direccional (67P)

Para ajustar la unidad direccional se debe ingresar a la unidad “PROTECTION” del relé, luego “PHASE CURRENT” y finalmente a la opción “PHASE DIRECTIONAL” ajustando los siguientes parámetros:

SETTING[GROUP 1]	PARAMETER
Phase Directional Function	Alarm
Phase Directional: Relay 3	Do Not Operate
Phase Directional: Relay 4	Do Not Operate
Phase Directional: Relay 5	Do Not Operate
Phase Directional: Relay 6	Do Not Operate
Phase Directional: Relay 7	Do Not Operate
Phase Directional Maximum Torque Angle	90 ° Lead
Minimum Polarizing Voltage	0.98 x VT
Block OC When Voltage Memory Expires	Disabled

Figura E.6: Ajuste de elemento direccional de corriente (67P)

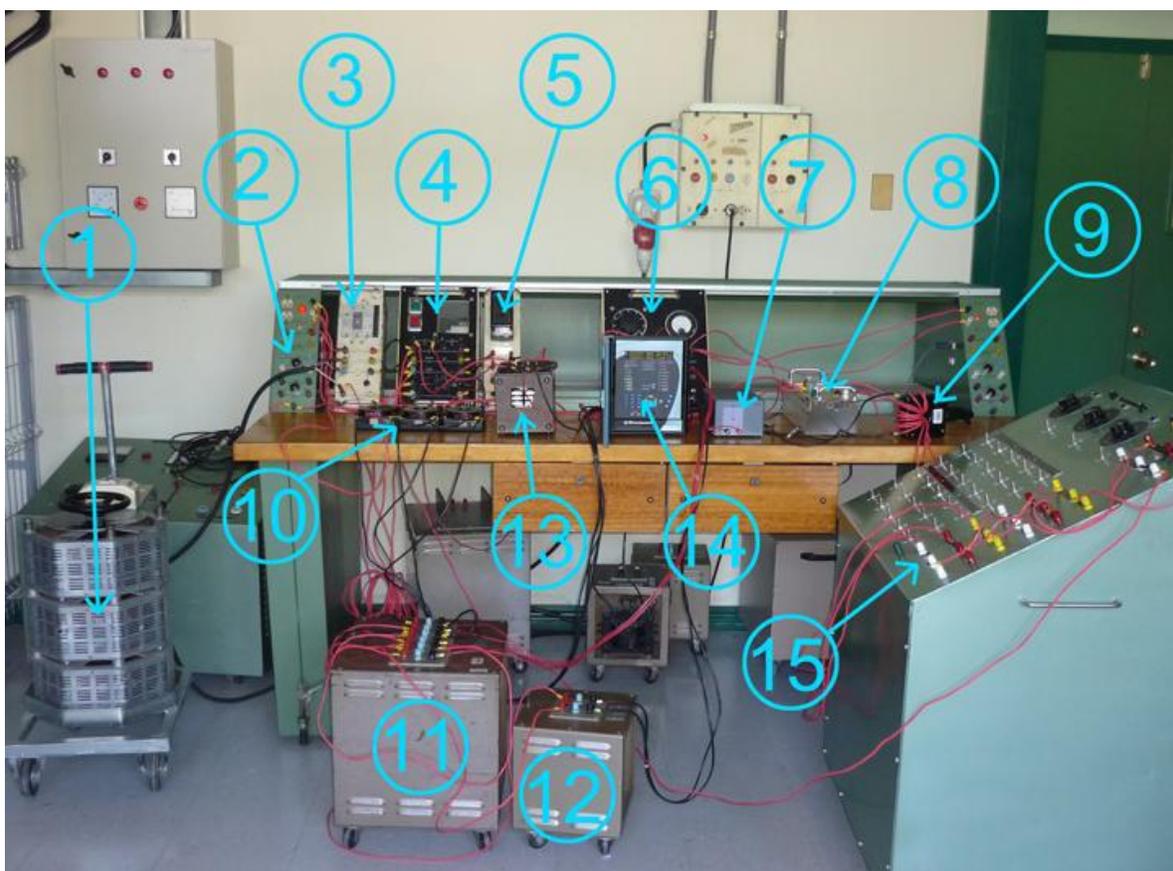


Figura E.7: Circuito de trabajo en laboratorio

Con referencia a la figura E.7, se presentan los elementos y equipos utilizados para la implementación de los circuitos de trabajo propuestos, a los cuales se hace mención a continuación:

1. Variac Trifásico.
2. Mesón de trabajo.
3. Breaker tripolar 15 Amperes.
4. Partidor a plena tensión utilizado como interruptor de poder.
5. Relé Auxiliar.
6. Fuente de corriente continua.
7. Fuente de alimentación de 27 Vdc.
8. Breaker tripolar 15 Amperes.
9. Transformador de corriente para medición de tipo anillo relación 100:5
10. Transformadores de corriente de fase relación 10:5.
11. Transformador de tensión trifásico 220/220-110 Volts por fase.
12. Transformador de tensión monofásico 220/220-110 Volts.
13. Cuentaciclos.
14. Relé digital MULTILÍN SR750.
15. Carga RLC 220V trifásicos nominales.