

## CAPITULO 4

**Análisis de las corrientes de corto circuito del CCH Vallejo y de la malla del sistema de tierras calculadas para el Colegio de Ciencias y Humanidades plantel Vallejo, conforme lo establece la IEEE STD 80-2000.**

Se realizó una memoria de cálculo la cual contiene diagramas, operaciones propiamente indicadas, así como el análisis de estas corrientes comparándolas con las protecciones instaladas. Para calcular estas corrientes encontramos la impedancia en tableros, transformadores y conductores, hasta encontrar impedancias totales, dicho proceso, así como sus operaciones es árduo, por lo que se colocó en el anexo B, si se desea ahondar en este proceso se puede consultar dicho anexo.

### 4.1 Reducción de impedancias total.

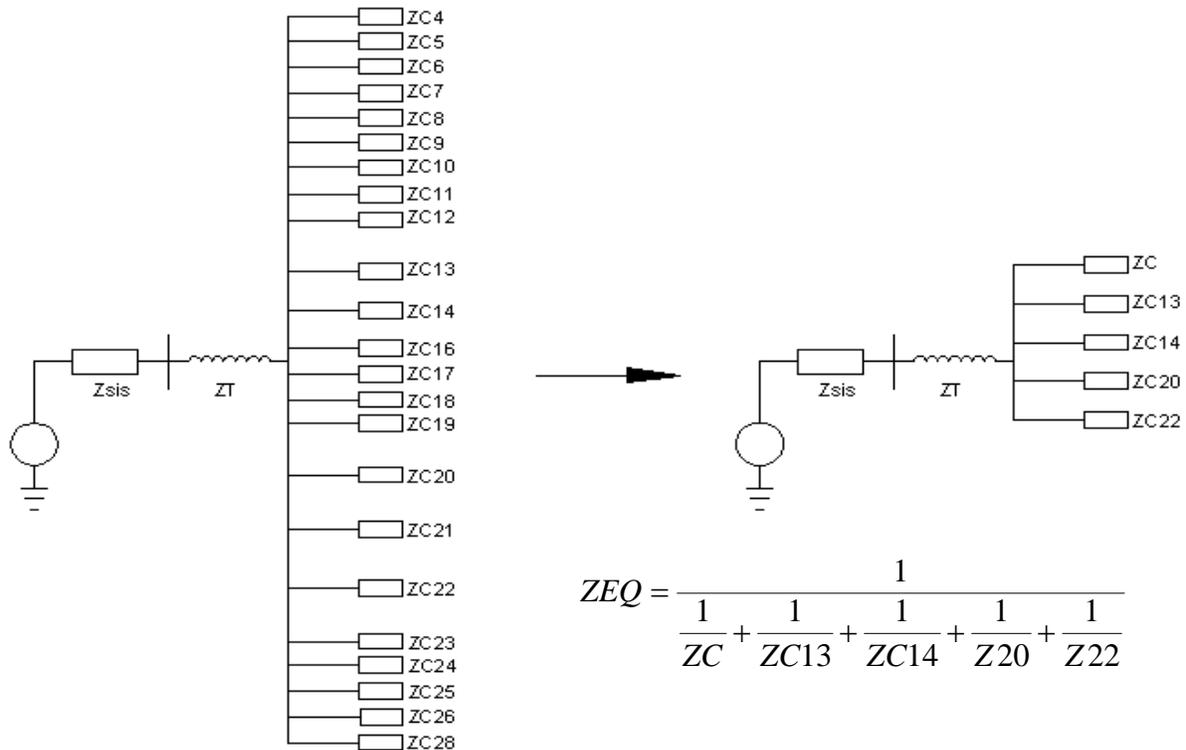


Figura 4.1 Diagrama unifilar simplificado de los edificios conjunto SILADIN, Galerón y Cómputo a la subestación.

Por lo tanto:

$$Z_{EQ} = \frac{1}{\frac{1}{1.29377} + \frac{1}{1.53407 + 4.69318j} + \frac{1}{8.65952 + 17.8877j} + \frac{1}{14.5565 + 30.2397j} + \frac{1}{18.19177 + 37.6464j}}$$

$$Z_{EQ} = 1.0245 + 0.3318989j \text{ pu.}$$

De datos de placa.

$$Z_T = 0.061j \text{ pu. (Impedancia del transformador)}$$

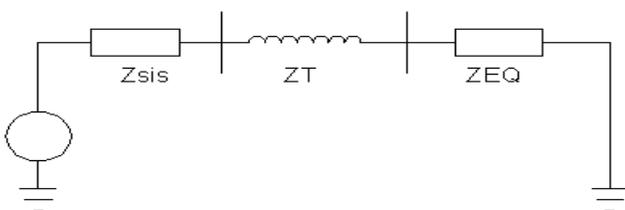


Figura 4.2 Diagrama Impedancia equivalente de los edificios conjunto SILADIN, Galerón y Cómputo a la acometida de la subestación CCH Vallejo.

En la fig. 4.2 tenemos la reducción final del diagrama de impedancias desde la acometida hasta el último tablero del plantel, en pu.

El voltaje de la fuente es la unidad debido a que estamos en pu.

Zsis en por unidad (pu) está en función de:  $Z_{sis} = \frac{MVA_{BASE}}{MVA_{cc}}$

#### 4.2 Cálculo de las corrientes necesarias para la correcta selección de los interruptores en la subestación.

Se llevo a cabo el cálculo de las corrientes de corto circuito en el lado de media tensión y en el de baja tensión, para saber si los interruptores en la subestación son los adecuados y que pueden proteger el transformador de 750 kVA, en el lado de media tensión y en el de baja tensión del transformador, las capacidades de interrupción son las siguientes:

##### Para el lado de media tensión:

Fusible de 15 Amp, con una capacidad interruptiva

Cortacircuitos Fusibles de Potencia Tipos SM-4® y SM-5® de S&C, 15 Amp, con una capacidad interruptiva de 32,000 A de corto circuito asimétrico y de 20,000 A de corto circuito simétrico, (Dato del fabricante del interruptor).

##### Para el lado de baja tensión:

Interruptor de electromagnético MASTERPACK, Corriente máx. de corto circuito del interruptor en el lado de baja tensión del transformador de la subestación, 75,000 A (Dato del fabricante del interruptor).

#### 4.3 Cálculo de corriente de corto circuito trifásico en el lado de media tensión del transformador de 750 kVA.

Suponiendo una corriente de corto circuito del sistema de 7.5kA.

El voltaje del lado de media tensión es de 23,000[V].

$$Z_{sis} = \frac{MVA_{BASE}}{MVA_{cc}} = \frac{0.75[MVA]}{7.5[kA] * 23,000[V]} =$$

$$Z_{sis} = 0.00434783j \text{ pu}$$

$$Z_{EQT} = 0.061j + 1.02450062 + 0.33189899j \text{ pu}$$

$$Z_{EQT} = 1.02450062 + 0.39289899j \text{ pu}$$

$$Z_{ThH} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{sis}} + \frac{1}{Z_{EQT}}}$$

$$Z_{ThH} = \frac{1}{\frac{1}{0.00434783j} + \frac{1}{1.02450062 + 0.39289899j}} \text{ pu}$$

$$Z_{ThH} = 0.000016024 + 0.00434161j \text{ pu}$$

$$Z_{ThH} = 0.00434898 \angle 89.8 \text{ pu}$$

$$I_{cc3\phi pu} = \frac{1}{Z_{ThH}} = \frac{1}{0.000016024 + 0.00434161j} \text{ pu}$$

$$I_{cc3\phi pu} = 0.85008849 - 230.326339j \text{ pu}$$

$$I_{cc3\phi pu} = 230.327908 \angle -89.7883237 \text{ pu}$$

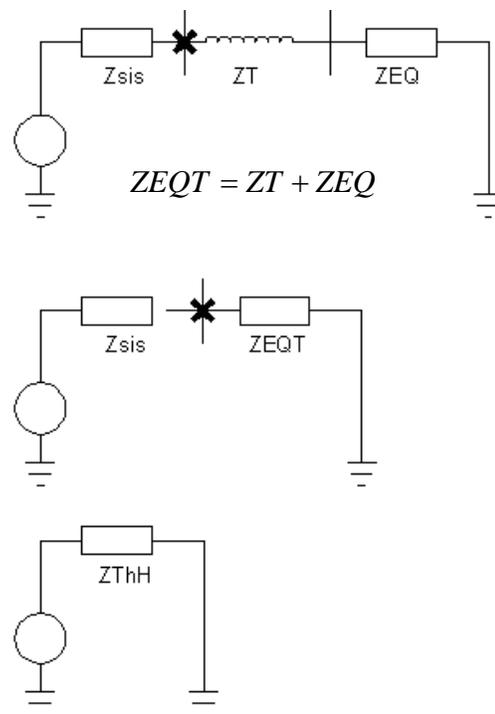


Figura 4.3 Diagrama de corto circuito trifásico del lado de media tensión del transformador de 750 KVA.

$$I_{basealta} = \frac{kVA_{base}}{\sqrt{3}(kvbase)} = \frac{750 KVA_{base}}{\sqrt{3}(23kvbase)} = 18.8266 [A]$$

$$I_{cc3\phi} = I_{cc3\phi pu} * I_{basealta} = (230.327908 \angle -89.7883237 \text{ j pu})(18.8266 [A])$$

$$I_{cc3\phi} = 4336.3 \angle -89.788 [A]$$

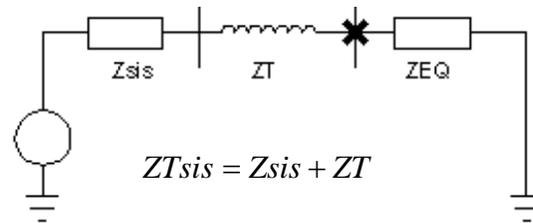
#### 4.4 Cálculo de corriente de corto circuito trifásico en el lado de baja tensión del transformador de 750 kVA.

Suponiendo una corriente de corto circuito del sistema de 7.5kA.  
El voltaje del lado de media tensión es de 23,000[V].

$$Z_{sis} = \frac{MVA_{BASE}}{MVA_{cc}} = \frac{0.75[MVA]}{7.5[kA] * 23,000[V]}$$

$$Z_{sis} = 0.00434783 \text{ j pu}$$

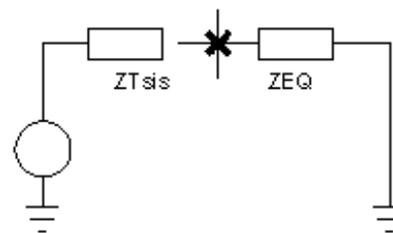
$$Z_T = 0.061 \text{ j pu}$$



$$Z_{Tsis} = 0.00434783 \text{ j} + 0.061 \text{ j pu}$$

$$Z_{Tsis} = 0.065347826 \text{ j pu}$$

$$Z_{Thb} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{Tsis}} + \frac{1}{Z_{EQ}}}$$



$$Z_{Thb} = \frac{1}{\frac{1}{0.065347826 \text{ j}} + \frac{1}{1.025 + 0.332 \text{ j}}} \text{ pu}$$

$$Z_{Thb} = 0.003623204 + 0.06394286 \text{ j pu}$$

$$Z_{Thb} = 0.064868 \angle 86.8 \text{ pu}$$

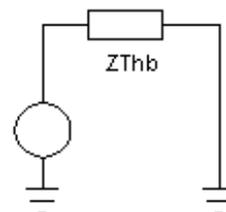


Figura 4.4 Diagrama de corto circuito trifásico del lado de baja tensión del transformador de 750 kVA.

$$I_{cc3\phi pu} = \frac{1}{Z_{Thb}} = \frac{1}{0.003623204 + 0.06394286 \text{ j}} \text{ pu} = 0.883316868 - 15.5889105 \text{ j pu}$$

$$I_{cc3\phi pu} = 15.61391624 \angle -86.7567054 \text{ pu}$$

$$I_{basebaja} = \frac{kVA_{base}}{\sqrt{3}(kvbase)} = 1968.239554 [A]$$

$$I_{cc3\phi} = I_{cc3\phi pu} * I_{basebaja} = (15.61391624 \angle -86.7567054)(1968.24 [A])$$

$$I_{cc3\phi} = 1738.57919 - 30682.7103 \text{ j [A]}$$

$$I_{cc3\phi} = 30731.9275 \angle -86.7567 [A]$$

#### 4.5 Cálculo de corriente de corto circuito monofásico en el lado de media tensión del transformador de 750 kVA de la subestación del CCH Vallejo.

Suponiendo una corriente de corto circuito del sistema de 7.5kA.

El voltaje del lado de media tensión es de 23,000[V].

$$Z_{sis} = \frac{MVA_{BASE}}{MVA_{cc}} = \frac{0.75[MVA]}{7.5[kA] * 23,000[V]}$$

$$Z_{sis} = 0.00434783j \text{ pu}$$

$$Z_{EQT} = Z_{EQ} + Z_T$$

$$Z_{ThH} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{sis}} + \frac{1}{Z_{EQT}}}$$

$$Z_{ThH} = \frac{1}{\frac{1}{0.00434783j} + \frac{1}{1.02450062 + 0.39289899j}} \text{ pu}$$

$$Z_{ThH} = 0.000016024 + 0.00434161j \text{ pu}$$

$$Z_{ThH} = 0.0043489.8 \angle 89.8 \text{ pu}$$

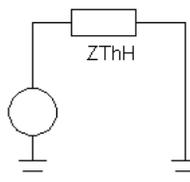
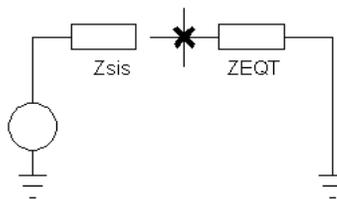
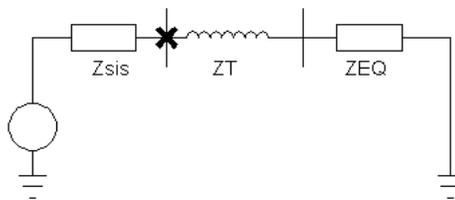


Figura 4.5 Diagrama de corto circuito monofásico en el lado de media tensión del transformador de 750 KVA.

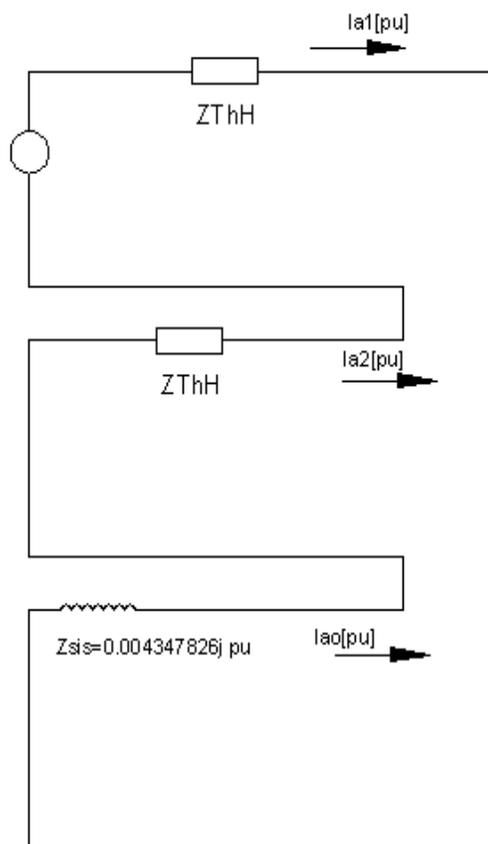
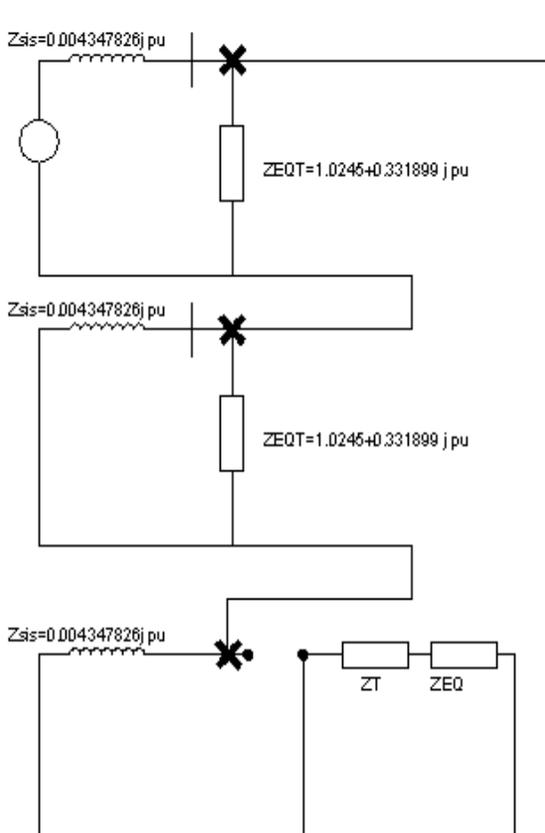


Figura 4.6 Diagrama de impedancias de secuencia positiva, negativa y cero para el corto circuito monofásico en el lado de media tensión del transformador de 750 KVA de la subestación CCH Vallejo.

$$Ia1[pu] = Ia2[pu] = Iao[pu] = Ia1[pu] = \frac{1}{2 * ZThH + Zsis}$$

$$Ia1[pu] = \frac{1}{2 * (0.000016024 + 0.00434161j) + 0.00434783j} pu = \frac{1}{3.2048E - 05 - 0.01303104j} pu$$

$$Ia1[pu] = 76.73950045 \angle -89.85888^\circ pu$$

$$Ibasealta = \frac{kVA_{base}}{\sqrt{3}(kvbase)} = \frac{750KVA_{base}}{\sqrt{3}(23kvbase)} = 18.8266[A]$$

La corriente de corto circuito es igual a tres veces la corriente de secuencia positiva multiplicada por la corriente base en el lado de alta del transformador:

$$Icc1\phi H = Ibasealta * 3 * Ia1[pu] = 18.8266[A] * 3 * (76.73950045 \angle -89.85888^\circ) pu$$

$$Icc1\phi H = 4334.24 \angle -89.86^\circ [A]$$

#### 4.6 Cálculo de corriente de corto circuito monofásico en el lado de baja tensión del transformador de 750 kVA.

Suponiendo una corriente de corto circuito del sistema de 7.5kA.

El voltaje del lado de media tensión es de 23,000[V].

$$Zsis = \frac{MVA_{BASE}}{MVA_{acc}} = \frac{0.75[MVA]}{7.5[kA] * 23,000[V]}$$

$$Zsis = 0.00434783j pu$$

$$ZT = 0.061j pu$$

$$ZTsis = Zsis + ZT$$

$$ZTsis = 0.00434783 j + 0.061 j pu$$

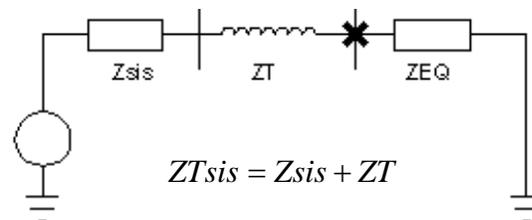
$$ZTsis = 0.06534782 j pu$$

$$ZThb = \frac{1}{\frac{1}{ZTsis} + \frac{1}{ZEQ}}$$

$$ZThb = \frac{1}{\frac{1}{0.06534782 j} + \frac{1}{1.025 + 0.332j}} pu$$

$$ZThb = 0.00362320 + 0.06394286 j pu$$

$$ZThb = 0.06486.8 \angle 86.8 pu$$



$$ZTsis = Zsis + ZT$$

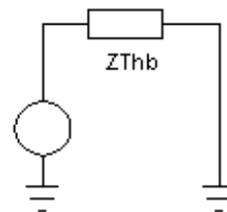
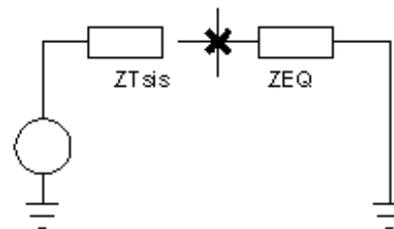


Figura 4.7. Diagrama de corto circuito monofásico en el lado de baja tensión del transformador de 750 KVA.

Para el caso de la impedancia de secuencia cero, el valor cambia debido a la conexión delta-estrella, por lo que anexamos el siguiente diagrama donde se muestra como se obtuvo dicha impedancia:

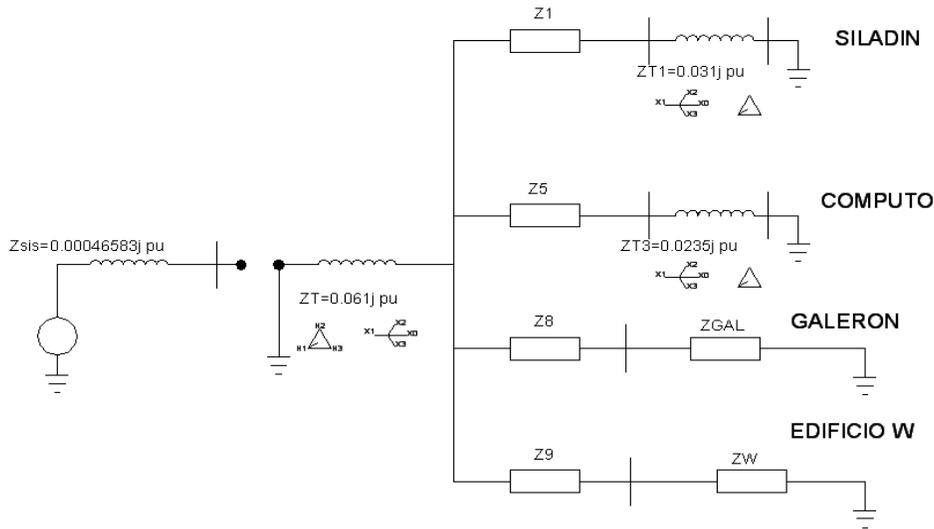


Figura 4.8 Diagrama de impedancias del sistema considerando los transformadores.

La Tabla 4.1 fue llenada de la con los datos de la Tabla 6, 7,11, ver anexo B.

	R [pu]	Xj [pu]
Z1	0.01293906	0.01146695
ZT1		0.31
Z5	0.01589877	0.02408059
ZT3		0.235
Z8	0.67472142	1.2579552
ZGAL	13.8818214	28.9817675
Z9	0.80888472	1.75258355
ZW	17.3828816	35.8938168

Tabla 4.1 (Datos previamente calculados de las Tablas 6 a 19 Ver anexo B).

Operaciones:

	R [pu]	Xj [pu]
<b>ZA=Z1+ZT1</b>	0.01293906	0.32146695
<b>ZB=Z5+ZT3</b>	0.01589877	0.25908059
<b>ZC=Z8+ZGAL</b>	14.5565429	30.2397227
<b>ZD=Z9+ZW</b>	18.1917663	37.6464003

Tabla 4.2. Impedancias en PU del lado de baja tensión del transformador de 750 kVA.

$$ZAD = \frac{1}{\frac{1}{ZA} + \frac{1}{ZB} + \frac{1}{ZC} + \frac{1}{ZD}}$$

$$ZAD = 0.00782074 + 0.14243972j[\text{pu}]$$

$$ZAD // ZT = \frac{1}{\frac{1}{ZAD} + \frac{1}{ZT}}$$

$$ZAD // ZT = 0.00070194 + 0.04273656j \text{ pu}$$

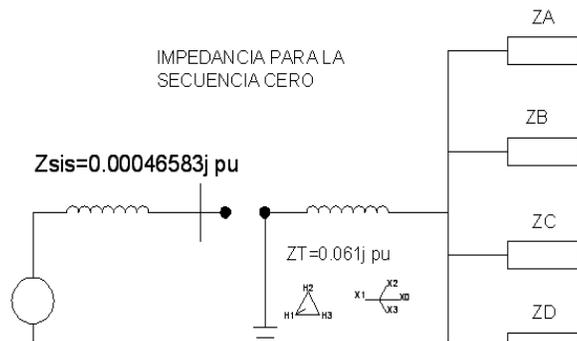
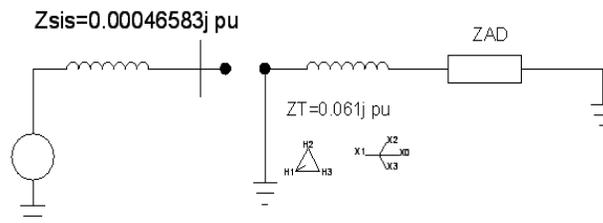


Figura 4.9 Diagrama de impedancias para la secuencia cero del sistema.



$$Z_{sis} = \frac{MVA_{BASE}}{MVA_{acc}} = \frac{0.75[MVA]}{7.5[kA] * 23,000[V]}$$

$$Z_{sis} = 0.00434783j \text{ pu}$$

$$Z_T = 0.061j \text{ pu}$$

$$Z_{Tsis} = Z_{sis} + Z_T$$

$$Z_{Tsis} = 0.00434783j + 0.061j \text{ pu}$$

$$Z_{Tsis} = 0.065347826j \text{ pu}$$

Impedancia de Thevenin en el lado de baja tensión.

$$Z_{Thb} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{Tsis}} + \frac{1}{Z_{EQ}}}$$

$$Z_{Thb} = \frac{1}{\frac{1}{0.065347826j} + \frac{1}{1.025 + 0.332j}} \text{ pu}$$

$$Z_{Thb} = 0.003623204 + 0.06394286j \text{ pu}$$

$$Z_{Thb} = 0.06486.8 \angle 86.8 \text{ pu}$$

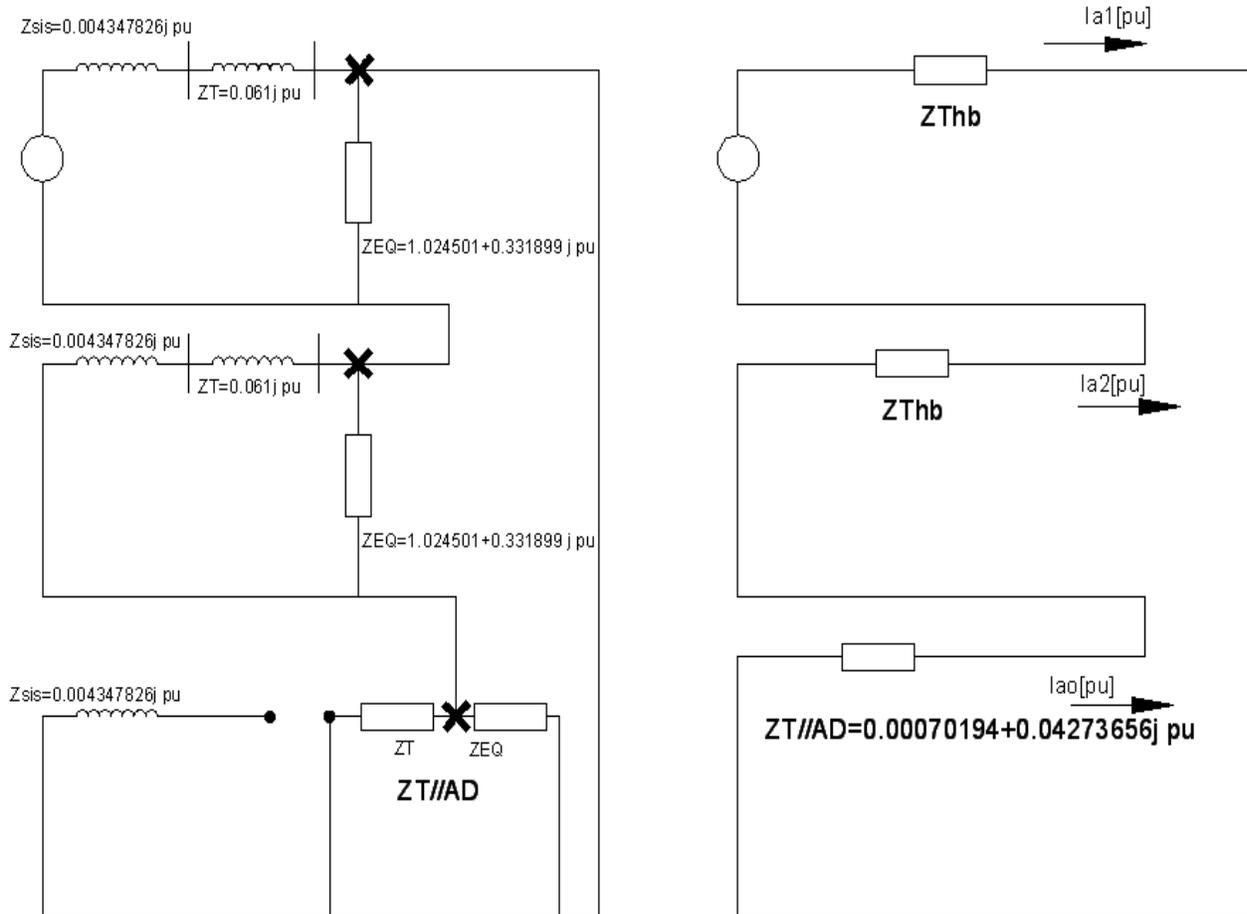


Figura 4.10 Diagrama de impedancias de secuencia positiva, negativa y cero para el corto circuito monofásico en el lado de baja tensión del transformador de 750 KVA de la subestación CCH Vallejo.

$$I_{cc1F} \phi \text{ pu} = \frac{1}{2 * Z_{Thb} + Z_T // AD} =$$

$$I_{cc1F} \phi \text{ pu} = \frac{1}{2(0.003623204 + 0.06394286j) + (0.000701936 + 0.04273656j)} \text{ pu}$$

$$I_{cc1F} \phi \text{ pu} = \frac{1}{0.007948345 + 0.17062229j} \text{ pu} = 0.27243553 - 5.84820776j \text{ pu}$$

$$I_{cc1F} \phi \text{ pu} = 5.855 \angle -87.3326317 \text{ pu}$$

$$I_{basebaja} = \frac{kVA_{base}}{\sqrt{3}(kv_{base})} = 1968.239554 [A]$$

La corriente de corto circuito es igual a tres veces la corriente de secuencia positiva multiplicada por la corriente base en el lado de alta del transformador:

$$I_{cc1F\phi} = 3 * I_{cc1F\phi pu} * I_{basebaja} = 3 * (0.272435532 - 5.84820776j pu)(1968.24 [A])$$

$$I_{cc1F\phi} = 1608.655167 - 34532.0215j [A]$$

$$I_{cc1F\phi} = 34569.4703 \angle -87.3326 [A]$$

#### 4.7 Análisis de las corrientes.

Se calcularon las corrientes de corto circuito con el fin de determinar si las protecciones instaladas en la subestación son las adecuadas ante: Corto circuito en el lado de media tensión (trifásico y monofásico), corto circuito en el lado de baja tensión (trifásico y monofásico), en caso de que las protecciones antes mencionadas no sean las adecuadas, se debe realizar una propuesta de sustitución de protecciones, según se requiera, para lo cual utilizaremos la información de la Tabla 4.1 y datos de placa de las protecciones, ver figura 2.1.

Corriente de corto circuito trifásico en media tensión	4,336.3 [A]
Corriente de corto circuito trifásico en baja tensión	30,731.9 [A]
Corriente de corto circuito monofásico en media tensión	4,334.2 [A]
Corriente de corto circuito monofásico baja tensión	34,569.5 [A]

Tabla 4.3 Corrientes de corto circuito.

- *Protecciones instaladas en la lado de media tensión.*

Fusibles marca S&C SM-55, snuffler, 26 kV, tipo SM-5S, 26 kV, I nominal=15 A, ICC=32,000 [A], ver tabla 4.4.

**CORTACIRCUITOS FUSIBLES DE POTENCIA SM-5–Capacidades de Interrupción en Cortocircuito de 50/60 Hertz**

kV , Nominal		Amperes, RMS, de InterrupciónⓄ				MVA, de Interrupción, Simétrico Trifásico, Ⓞ Basado en $\frac{X}{R} = 15$
SM-5	Sistema	Asimétrico	Simétrico			
			Basado en $\frac{X}{R} = 15$	Basado en $\frac{X}{R} = 10$	Basado en $\frac{X}{R} = 5$	
4.16■	2.4	60 000	37 500	41 000	48 000	155
	2.4/4.16Y	60 000	37 500	41 000	48 000	<b>270●</b>
7.2	2.4	44 500	28 000	30 500	35 600	115
	2.4/4.16Y	44 500	28 000	30 500	35 600	200
	4.8	43 500	27 000	29 800	34 800	225
	7.2	41 500	26 000	28 500	33 200	<b>325●</b>
14.4 (capacidades 50/60 Hz)	7.2	40 000	25 000	27 400	32 000	310
	4.8/8.32Y	40 000	25 000	27 400	32 000	360
	12	40 000	25 000	27 400	32 000	520
	7.2/12.47Y	40 000	25 000	27 400	32 000	540
	7.62/13.2Y	40 000	25 000	27 400	32 000	570
	13.8	40 000	25 000	27 400	32 000	600
	14.4	40 000	25 000	27 400	32 000	<b>620●</b>
	16.5	40 000	25 000	27 400	32 000	715
14.4 (capacidades 60 Hz)	7.2	55 000	34 600	34 600	34 600	430
	4.8/8.32Y	55 000	34 600	34 600	34 600	500
	12	55 000	34 600	34 600	34 600	720
	7.2/12.47Y	55 000	34 600	34 600	34 600	750
	7.62/13.2Y	54 000	34 000	34 000	34 000	780
	13.8	54 000	34 000	34 000	34 000	815
	14.4	54 000	34 000	34 000	34 000	<b>850●</b>
25	7.2/12.47Y	32 000	20 000	21 900	25 600	430
	7.62/13.2Y	32 000	20 000	21 900	25 600	455
	13.8	32 000	20 000	21 900	25 600	480
	14.4	32 000	20 000	21 900	25 600	500
	16.5	32 000	20 000	21 900	25 600	570
	23	<b>32 000</b>	20 000	21 900	25 600	795
	14.4/24.9Y	32 000	20 000	21 900	25 600	<b>860●</b>

Tabla 4.4 Cortacircuitos Fusibles de Potencia Tipos SM-4® y SM-5® de S&C, para uso con los rellenos fusibles de potencia SM Distribución Aérea (4.16 kV hasta 34.5 kV). Tabla tomada del BOLETÍN DESCRIPTIVO 242-30S, S&C ELECTRIC COMPANY.

• *Lado de baja tensión:*

Interrupción electromagnética, tipo Master Pack, Mca. Merlin Gerin, 1 kV, I nominal=2,500 [A], ICC=75,000 [A]. Estos datos fueron tomados de placa del interruptor.

Conclusión para el lado de media tensión: Con la información anterior verificamos que el fusible para el lado de alta tensión protege al transformador, ya que el valor máximo de corriente de corto circuito de 4,336.3 [A] no rebasa los 32,000 [A] con los que puede operar el fusible.

Por lo tanto no se requiere realizar una sustitución del fusible por otro de mayor capacidad.

Conclusión para el lado de baja tensión: Como en el caso anterior procedimos a comparar las corrientes obtenidas, el valor máximo de corriente de corto circuito obtenida es de 34,569.5 [A] y la corriente máxima con la que puede operar correctamente el interruptor electromagnético es de 75,000 [A].

Por lo tanto no es necesario reemplazar dicha protección, debido a que puede operar correctamente.

Finalmente se concluye que no se debe instalar nuevas protecciones para el lado de alta y de baja tensión del transformador de 750 kVA.

Después de calcular los potenciales de paso y de contacto (Ver anexo C), se genera la siguiente tabla, Si la malla es segura debe cumplir con las siguientes condiciones:

Potencial	Cálculo de la malla [V]		Tolerable[V]
Paso	5,432.46	<	5,663.04
contacto	1,562.67	<	1,582.28

Tabla 4.5 Tabla comparativa de potenciales en la malla propuesta.

La malla diseñada cumple con los potenciales de paso y contacto, es capaz de disipar la corriente de corto circuito además de que la resistencia de esta es menor a los 5  $[\Omega]$  para subestaciones de distribución. Se cumple con el estándar de seguridad establecido por la IEEE STD 80-2000.

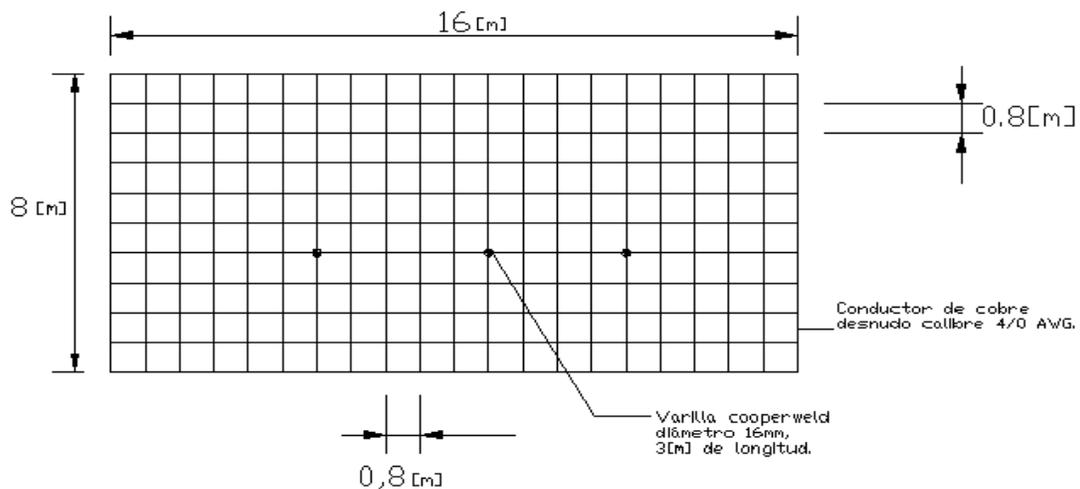


Figura 4.11 Malla propuesta de la subestación.