



SUBESTACIONES ELECTRICAS



CAPITULO 2

LOS ESTUDIOS EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS

✓ ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO, MONOFASICO Y ANALISIS DE FALLAS DE CORTO CIRCUITO

Es el aumento exponencial de la corriente al existir una falla a tierra puede ser de

1. Fase a tierra.
2. LINEA A LINEA y dos fases a tierra.
3. Tres fases y tres fases a tierra



Siendo la máxima corriente que permite la **impedancia (Z)** de la red por donde pase.

$Z = R + jX_L$; cuando la corriente sube la $R \sim 0$; $Z = jX_L$ debido a que la **Flujo magnetico**
 $B_x = \mu H_x = \mu I / 2\pi r^2$ (wb/m²)

Si la corriente de Corto Circuito (I_{cc}) no se detiene rápidamente daña el aislamiento por donde pase.



2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

- UN SISTEMA ELECTRICO
ESTA EXPUESTO A
FALLAS O
CORTOCIRCUITOS.



- EL EQUIPO FALLADO O PARTE DEL
SISTEMA EN FALLA DEBE DE SER AISLADO
DEL RESTO EN FORMA SEGURA...



2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

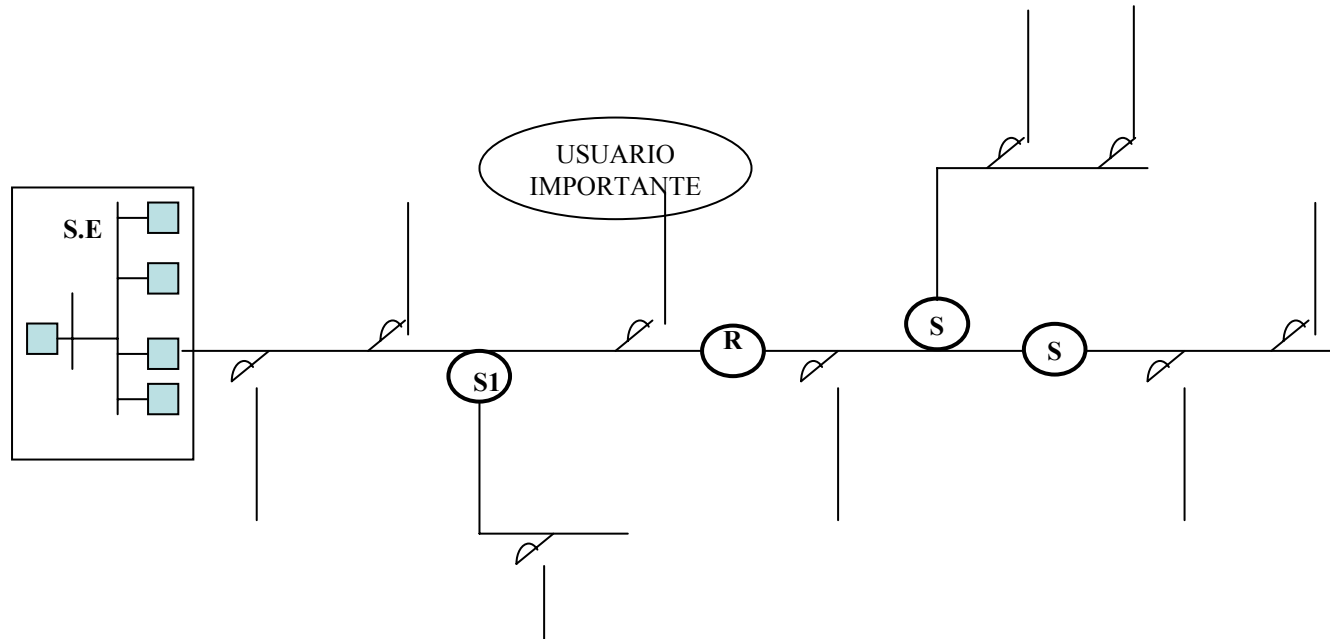
- PARA EVITAR EL RIESGO DE EL PERSONAL ES NECESARIO LA INSTALACION DE EQUIPOS DE PROTECCION COMO:
- RELEVADORES.
- INTERRUPTORES.
- FUSIBLES.
- RESTAURADORES.





2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

- LA SELECCIÓN CORRECTA DE TALES DISPOSITIVOS DE PROTECCION REQUIERE DE LOS CALCULOS DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.



SI: SECCIONALIZADOR ELECTRONICO

1 CONTEO MENOS QUE EL TOTAL DE RECIERRES



2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

- EXISTEN DOS FALLAS DE MUCHO INTERES COMO LO SON LAS FALLAS TRIFASICAS Y DE FASE A TIERRA.
- CONSIDERANDO LAS CONDICIONES DEL SISTEMA QUE PRODUCEN LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO MAXIMA Y MINIMA.





- DETERMINAMOS QUE LOS PROPOSITOS DEL CALCULO DE CORTOCIRCUITO SON LOS SIG:
- 1.-DETERMINAR EL ESFUERZO IMPUESTO SOBRE LOS DISPOSITIVOS DE INTERRUPCION ...
 - 2.-APLICAR LOS RESULTADOS A RELEVADORES Y DISPOSITIVOS DE PROTECCION.
 - 3.-COORDINAR LOS SISTEMAS DE PROTECCION.



2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

- 4.-DETERMINAR LOS ESFUERZOS MECANICOS Y TERMICOS SOBRE CABLES, BARRAS, DUCTOS, ETC.
- 5.-DETERMINAR LAS CARACTERISTICAS DE OPERACIÓN DE LOS GRANDES CONVERTIDORES ESTATICOS.
- 6.-DETERMINAR LA MINIMA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.



2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

- LAS PRINCIPALES FUENTES DE CORTOCIRCUITO SON:
- ACTIVOS (GENERADORES Y MOTORES):
 - EL SISTEMA DE LA EMPRESA SUMINISTRADORA
 - LAS MAQUINAS SINCRONAS.
 - LOS MOTORES DE INDUCCION.
- PASIVOS (IMPEDANCIAS DEL CONDUCTOR, MOTORES Y TRANSFORMADORES QUE LIMITAN SU INTENSIDAD) y LAS LINEAS DE TRANSMISION.



2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

ELEMENTOS DE UNA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO

- LA REACTANCIA SUBTRANSITORIA (X''_d) (30 ciclos hasta $\frac{1}{2}$ segundo).
- LA REACTANCIA TRANSITORIA (X'_d) (lapso de hasta 2 seg).
- LA REACTANCIA SINCRONA (X_d)(Se presenta varios segundos después de la Falla)



2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

- CUANDO UN GENERADOR ESTA EN CORTOCIRCUITO, LA CORRIENTE RESULTANTE CONTIENE A LA COMPONENTE DE C.A DE ESTADO PERMANENTE Y LA COMPONENTE DE ESTADO TRANSITORIO.



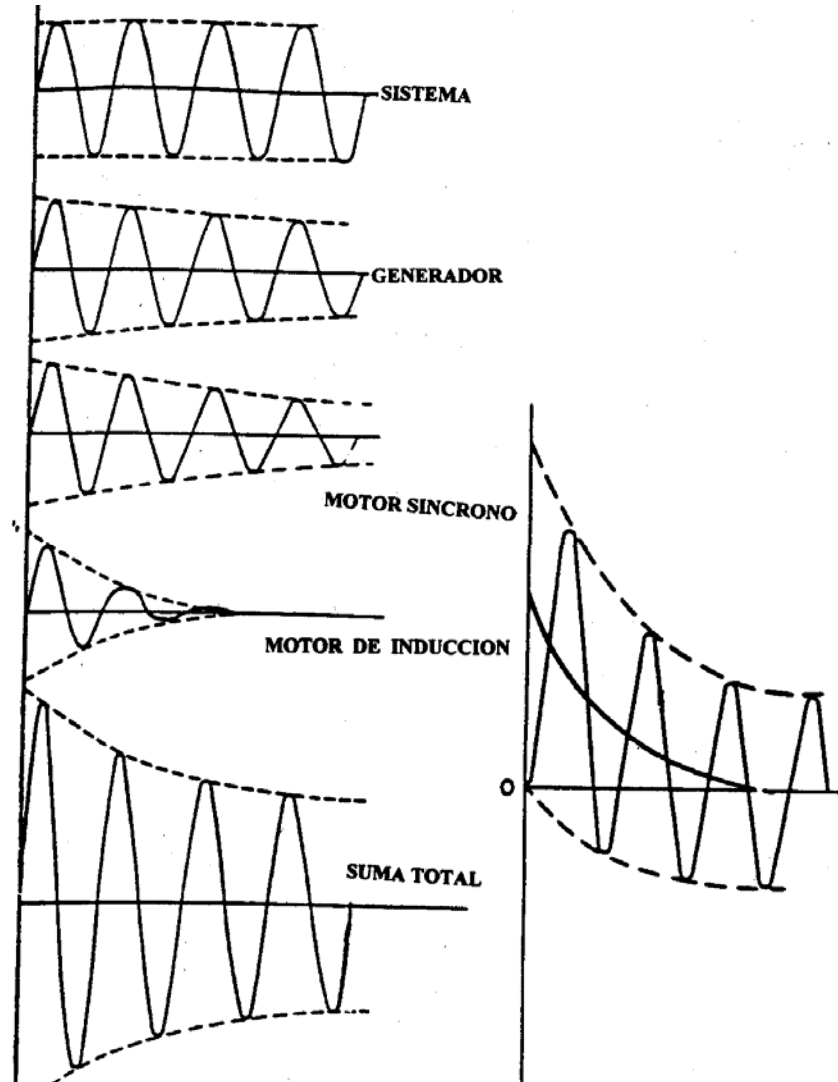
2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

- LA CORRIENTE SIMETRICA SE COMPONE DE SOLO C.A.
- LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO ASIMETRICA ESTA COMPUESTA DE DOS COMPONENTES :
- LA COMPONENTE DE C.A.
- LA COMPONENTE DE C.D.

MÁXIMA CORRIENTE ASIMÉTRICA OCURRE SOLAMENTE EN UNA DE LAS FASES DEL SISTEMA (CUALQUIERA DE LAS TRES)



2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

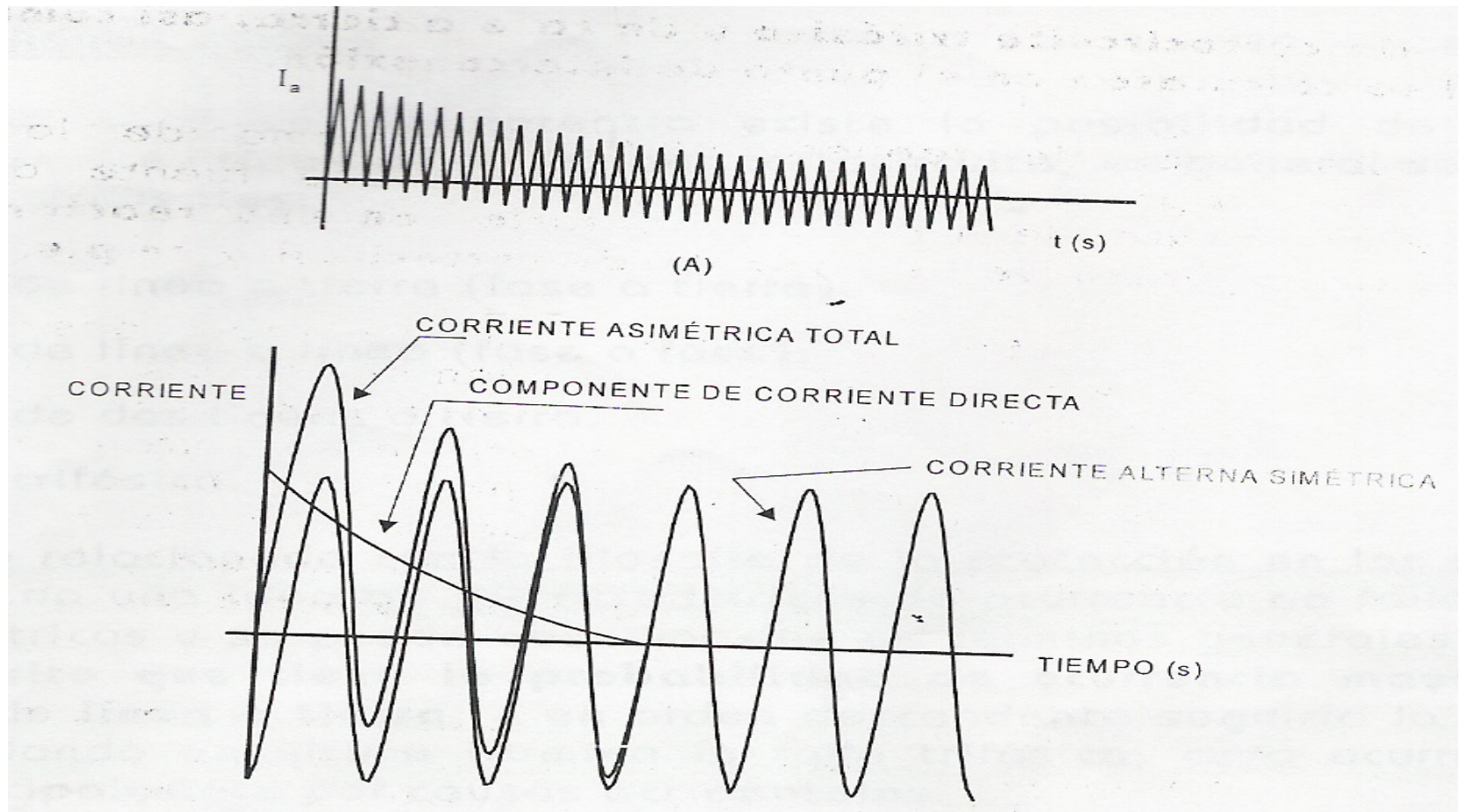


M.C. OBED R. JIMENEZ MEZA



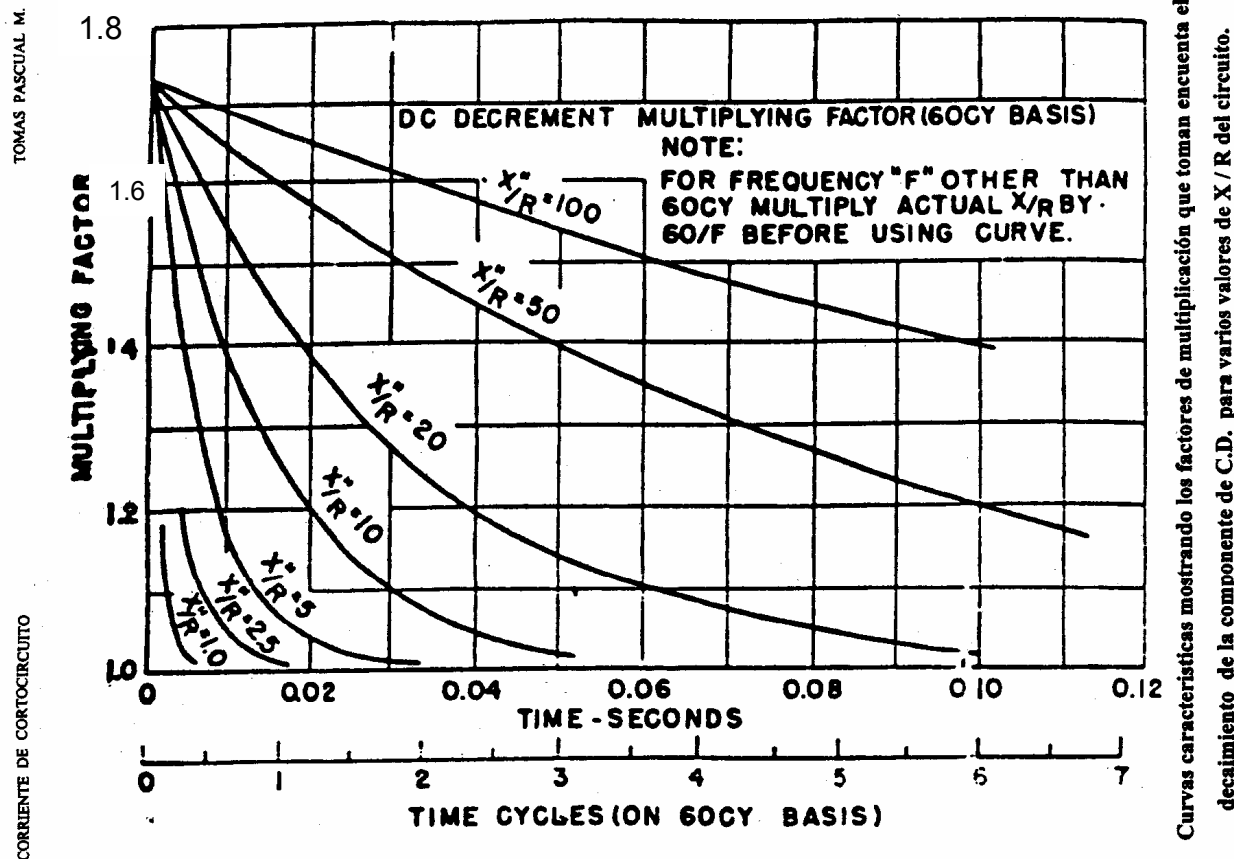
2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

- GRAFICA DE FALLA ASIMETRICA (CA Y CD)





2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO



Los valores del factor Asimétrico son desde 1.1 a 1.8, usando el valor de 1.1 y 1.3 para sistemas de alta tensión y 1.25 -1.5 en instalaciones industriales



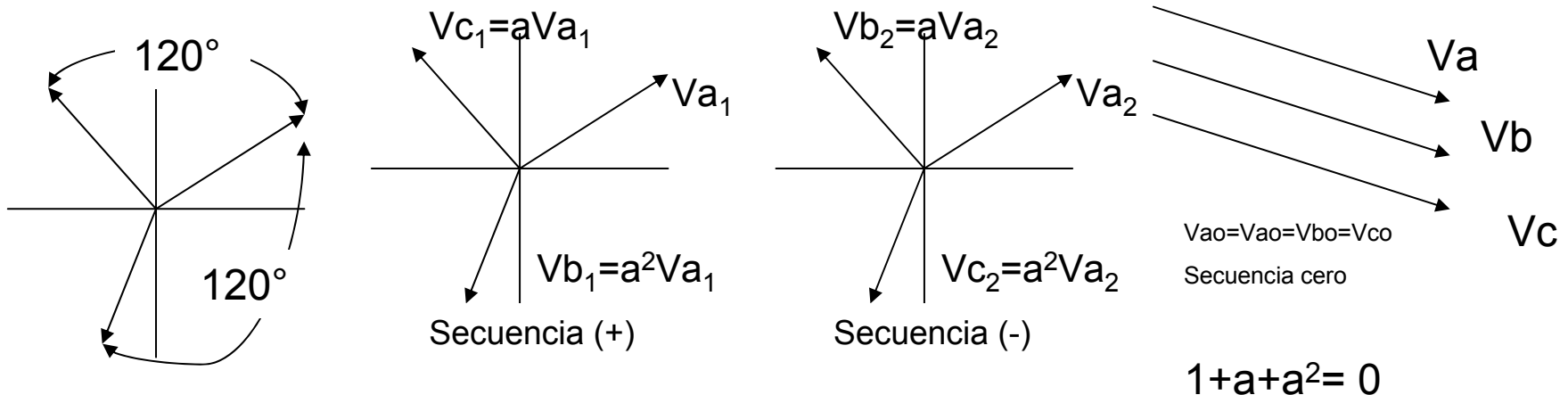
2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

- PARA DETERMINAR LAS CARACTERISTICAS DE PROTECCION, Y LOS PARAMEROS DE ESFUERZOS ELECTRODINAMICOS EN UNA SUBESTACION ELECTRICA, SE REALIZAN LOS ESTUDIOS DE CORTOCIRCUITO PARA FALLAS DE:
- LINEA A TIERRA (MAS FRECUENTE).
- TRIFASICA (MAS ALTA CORRIENTE).



METODO DE LAS COMPONENTES SIMETRICAS

A ESTE METODO SE LE CONOCE COMO TAL, POR QUE EN EL ESTUDIO DE LAS DISTINTAS FALLAS, LAS CONSIDERAN EN GENERAL COMO DESBALANCEADAS, Y ENTONCES, SE DESCOMPONE UN SISTEMA DE VECTORES, CORRIENTES O VOLTAJES DESBALANCEADOS DENOMINADOS DE SECUENCIA POSITIVA, SECUENCIA NEGATIVA Y SECUENCIA CERO , BASANDOSE EN LA TEORIA DE LAS COMPONENTES SIMETRICAS.





FALLA DE LINEA A TIERRA

EN ESTE TIPO DE FALLA, LA CORRIENTE ESTA AFECTADA POR LA FORMA EN QUE SE ENCUENTRAN LOS NEUTROS DEL SISTEMA CONECTADOS A TIERRA, YA QUE REPRESENTAN LOS PUNTOS DE RETORNO PARA LA CIRCULACION DE LAS CORRIENTES.

LA DETERMINACION DE LA CORRIENTE TOTAL DE FALLA EN UN PUNTO, SE OBTIENE COMO LA CONTRIBUCION DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO POR LOS ELEMENTOS ACTIVOS DE LA RED, PARA ESTO SE REQUIER ELABORAR UN DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS DE SECUENCIA POSITIVA, NEGATIVA Y CERO, APARTIR DE ESTOS DIAGRAMAS SE OBTIENEN LAS IMPEDANCIAS EQUIVALENTES EN CADA CASO.



DIAGRAMAS DE IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITIVA

ESTE DIAGRAMA SE PUEDE OBTENER REMPLAZANDO CADA ELEMENTO DEL SISTEMA MOSTRADO EN EL DIAGRAMA UNIFILAR POR SU IMPEDANCIA YA REFERIDA A LA BASE COMUN Y REPRESENTANDO TAMBIEN A LAS FUENTES DE VOLTAJE CON SUS VALORES EXPRESADOS EN POR UNIDAD Y REFERIDAS TAMBIEN A UNA BASE DE TENSION COMUN.

EN EL CASO DE LAS FUENTES DE VOLTAJE SE CONSIDERA QUE DEPENDIENDO DE LA IMPORTANCIA Y MAGNITUD DEL SISTEMA, SE PUEDEN OBTENER FUENTES EQUIVALENTES PARA LOS GENERADORES, MOTORES SINCRONOS Y GRUPOS DE MOTORES DE INDUCCION .



DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS DE SECUENCIA NEGATIVA

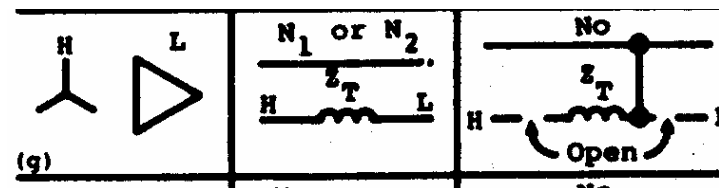
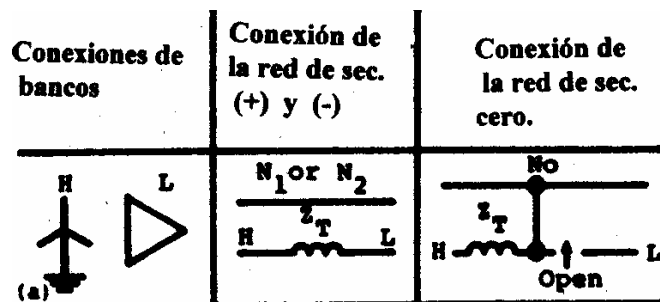
EL DIAGRAMA SE ELABORA DE LA MISMA FORMA QUE EL DE SECUENCIAS POSITIVAS, CON LA UNICA DIFERENCIA DE QUE EL DIAGRAMA DE SECUENCIAS NEGATIVAS NO CONTIENE FUENTES DE VOLTAJE.

ES MUY COMUN QUE EN LOS ESTUDIOS DE CORTOCIRCUITO DE FASE A TIERRA SE HAGA SOLO EL DIAGRAMA DE SECUENCIA POSITIVA Y LAS REACTANCIAS SE TOMEN IGUAL PARA LA SECUENCIA NEGATIVA EN LA FORMULA DE CALCULO.



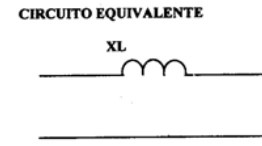
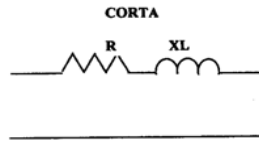
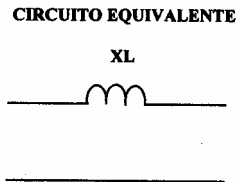
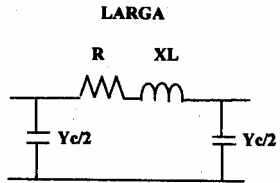
DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS DE SECUENCIA CERO

ESTE TIPO DE DIAGRAMAS REQUIERE DE CONSIDERACIONES ADICIONALES A LAS QUE SE REALIZAN EN LOS DOS ANTERIORES, YA QUE LAS CORRIENTES DE SECUENCIA CERO QUE CIRCULAN CIRCULAN A TRAVES DE ESTAS **IMPEDANCIAS LO HACEN A TIERRA**, POR LO QUE INFLUYE EN FORMA DETERMINANTE LA FORMA EN COMO SE ENCUENTREN LOS NEUTROS DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS CONECTADOS A TIERRA.

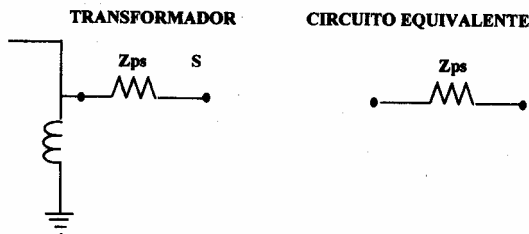
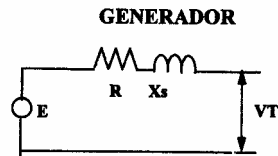
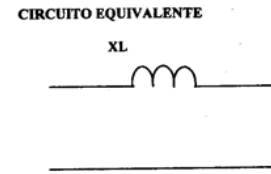
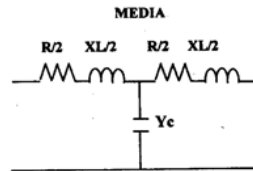




LINEA LARGA

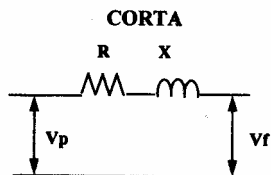


LINEA MEDIANA



Z_{ps} = impedancia equivalente entre primario y secundario.

LINEAS DE TRANSMISION



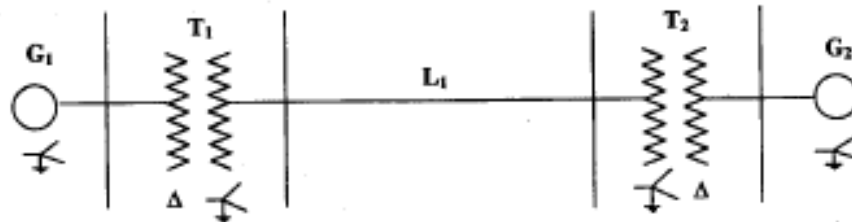
Conexiones de ancos	Conexión de la red de sec. (+) y (-)	Conexión de la red de sec. cero.
(1)	$\frac{N_1 \text{ or } N_2}{H \text{ --- } Z_T \text{ --- } L}$	
(2)	$\frac{N_1 \text{ or } N_2}{H \text{ --- } Z_T \text{ --- } L}$	
(3)	$\frac{N_1 \text{ or } N_2}{H \text{ --- } Z_T \text{ --- } L}$	
(4)	$\frac{N_1 \text{ or } N_2}{H \text{ --- } Z_T \text{ --- } L}$	
(5)	$\frac{N_1 \text{ or } N_2}{H \text{ --- } Z_T \text{ --- } L}$	
(6)	$\frac{N_1 \text{ or } N_2}{H \text{ --- } Z_T \text{ --- } L}$	
(7)	$\frac{N_1 \text{ or } N_2}{H \text{ --- } Z_T \text{ --- } L}$	
(8)	$\frac{N_1 \text{ or } N_2}{H \text{ --- } Z_T \text{ --- } L}$	
(9)	$\frac{N_1 \text{ or } N_2}{H \text{ --- } Z_T \text{ --- } L}$	
(10)	$\frac{N_1 \text{ or } N_2}{H \text{ --- } Z_T \text{ --- } L}$	

CONEXIONES DE LAS REDES DE SECUENCIA PARA TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS.

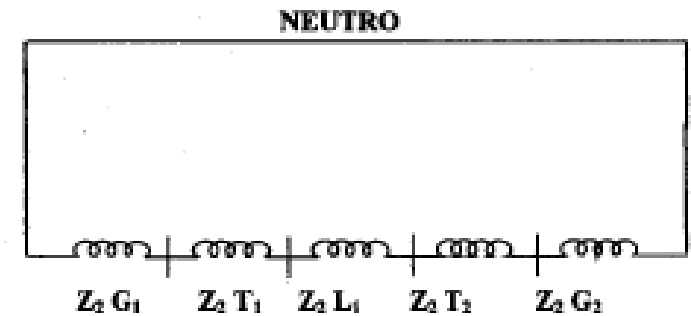


Ejemplo

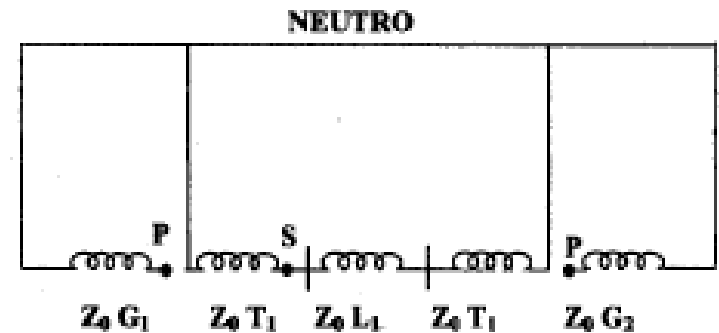
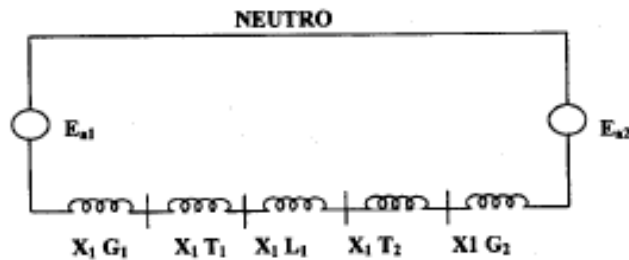
Conexiones de bancos	Conexión de la red de sec. (+) y (-)	Conexión de la red de sec. cero.
Red de secuencia (-)		

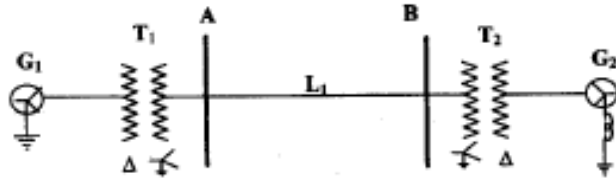


Red de secuencia (+)

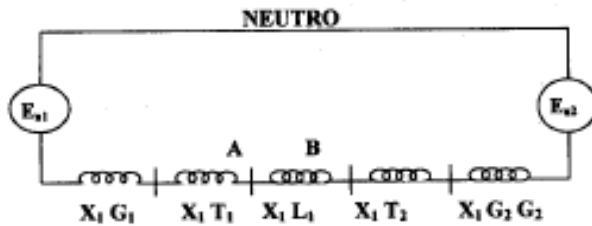


Red de secuencia (0)

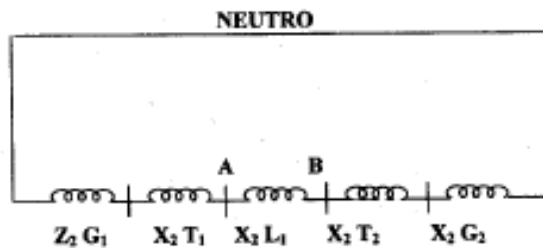




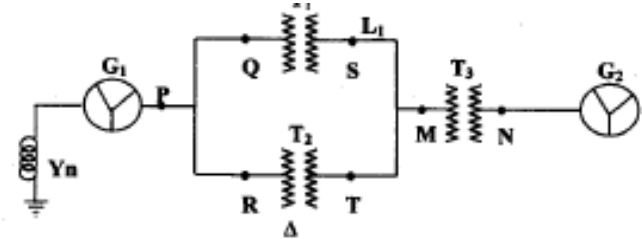
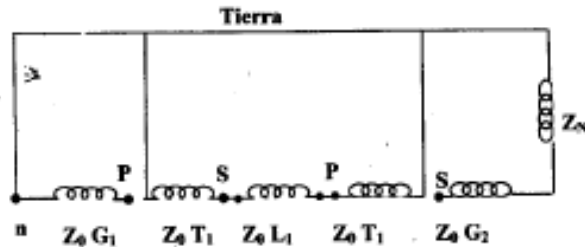
SEC (+)



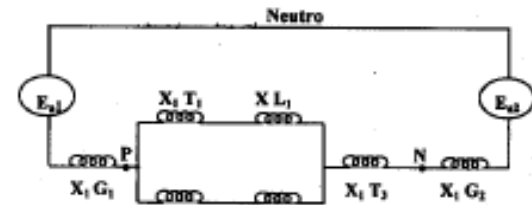
SEC (-)



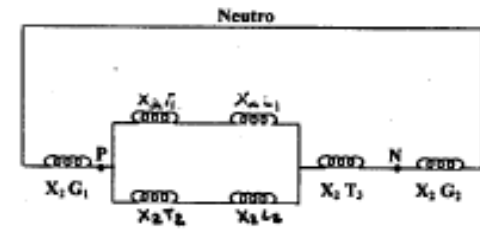
SEC (0)



Sec. (+):



Sec. (-):



Sec. (0):

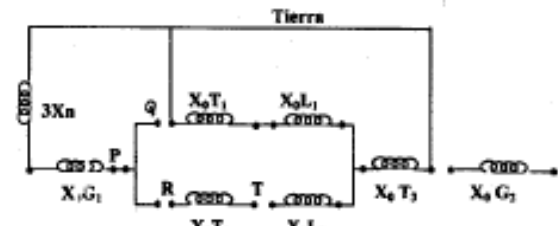




DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS DE SECUENCIA CERO

X_1 REPRESENTA LA REACTANCIA POSITIVA EQUIVALENTE ENTRE EL PUNTO DE FALLA Y LA FUENTE DE ALIMENTACION.

X_2 ES LA REACTANCIA DE SECUENCIA NEGATIVA ENTRE EL PUNTO DE FALLA Y LA FUENTE.

X_0 REPRESENTA UNA REACTANCIA EQUIVALENTE, PERO DE SECUENCIA CERO ENTRE LA FALLA Y EL PUNTO DE ALIMENTACION, CONSIDERANDO LAS CONEXIONES A TIERRA DE LOS NEUTROS.



CALCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO

PARA LA FALLA DE LINEA A TIERRA, USANDO EL METODO DE LAS COMPONENTES SIMETRICAS, SE PUEDE CALCULAR LA CORRIENTE TOTAL DE FALLA EN UN PUNTO DADO DEL SISTEMA, APLICANDO LA EXPRESION :

$$I_{cc} = \frac{3E}{X_1 + X_2 + X_0} \quad (\text{P.U.})$$

SUPONIENDO QUE LA FALLA OCURRIO ENTRE LA FASE A TIERRA, LA CORRIENTE POR CALCULAR ES I_{cc} PERO PARA CULQUIER FASE QUE ESTUVIERA EN FALLA LA EXPRESION SERIA LA MISMA, SOLO EXISTIRA UN DEFASAMIENTO.



DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS DE SECUENCIA CERO

LA EXPRESION ANTERIOR, SUPONE QUE LAS CORRIENTES (DE SECUENCIA) EN CADA DIAGRAMA DE SECUENCIAS SON LAS MISMAS, OSEA QUE SE ENCUENTRAN CONECTADAS EN SERIE POR LO QUE :

ES COMUN QUE LAS IMPEDANCIAS DE SECUENCIAS POSITIVAS Y NEGATIVAS SEAN IGUALES, POR LO QUE ENTONCES LA EXPRESION PARA EL CALCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA A TIERRA SE PUEDA SIMPLIFICAR COMO:

$$I_a = 3\epsilon / 2X_1 + X_0$$

SIENDO : ϵ = TENCION DE LA FUENTE A POR UNIDAD



CANTIDADES EN PORCIENTO Y POR UNIDAD.

Para simplificar este problema es costumbre representar los valores del sistema en p.u. o en porciento; una cantidad en p.u. resulta de dividir una cantidad dada entre otras de las mismas unidades pero tomando como base de referencia:

$$\text{cantidad en p.u.} = \frac{\text{cantidad}_{\text{dada}}}{\text{cantidad}_{\text{base}}}$$

Por ejemplo, si se tienen tensiones de 90, 100 y 120 KV y si se quieren expresar en p.u. a una base de 100 KV, las cantidades son las siguientes:

$$\frac{90}{100} = 0.9 \text{ p.u.}$$

$$\frac{100}{100} = 1 \text{ p.u.}$$

$$\frac{120}{100} = 1.2 \text{ p.u.}$$

Una cantidad en porciento resulta de multiplicar una cantidad p.u. por 100.

$$\text{Cantidad en \%} = \text{cantidad en p.u.} \times 100 \quad 2.2$$

$$\text{cantidad en p.u.} = \frac{\text{cantidad en \%}}{100} \quad 2.3$$

Por ejemplo: Un transformador tiene una impedancia de 8%. En p.u. su valor es:

$$\frac{Z\%}{100} = \frac{8}{100} = 0.08 \text{ p.u.}$$



$$VA_{base} = \frac{V_{BASE}}{I_{base}}$$

$$Z_{BASE} = \frac{V_{BASE}}{I_{BASE}}$$

$$VA_{BASE} = V_{BASE} I_{BASE}$$

Como por lo general las cantidades conocidas en un sistema son KVA y KV conviene expresar (9) en función de sus cantidades.

$$VA_{BASE} = KVA_{BASE} \times 10^3$$

$$V_{BASE} = KV_{BASE} \times 10^3$$

$$Z_{p.u} = \frac{Z(\Omega) KVA_{BASE}}{(KV)^2 \times 10^3} \quad 2.11$$

en porciento se multiplica por la ecuación 11.

$$Z\% = \frac{Z(\Omega) KVA_{BASE}}{KV^2 \times 10} \quad 2.12$$

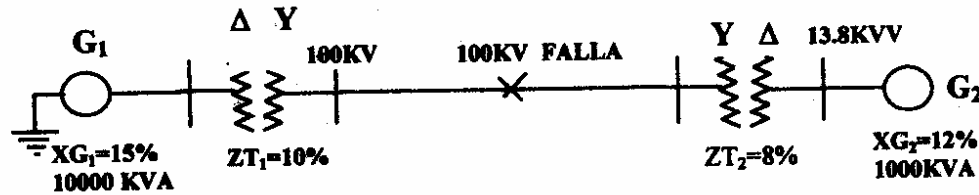
Si se desea expresar una impedancia en p.u.:

$$Z_{p.u} = \frac{Z(\Omega)}{Z_{BASE}(\Omega)}$$

Sustituyendo 8 en 9

$$Z_{p.u} = \frac{Z(\Omega) VA_{BASE}}{(V_{BASE})^2}$$

$$Z_{p.u. BASE 2} = Z_{p.u. BASE 1} \left(\frac{KVA_{BASE 1}}{KVA_{BASE 2}} \right) \left(\frac{KV_{BASE 2}}{KV_{BASE 1}} \right)^2$$

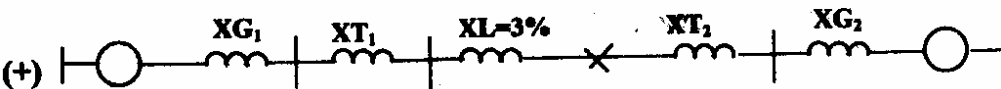


La corriente de cortocircuito simétrica:

$$I_{cc} = \frac{KVA_{BASE}}{\sqrt{3} \text{ kV } X\%} \times 100$$

Los KVA son arbitrarios y en este caso se pueden tomar 10000 KVA.

Los kV son los kV del sistema en el punto de falla, para este ejemplo 100kV.



$$I_{cc} = \frac{10000 \times 100\%}{\sqrt{3} (100) (11.667)} = 494 \text{ A}$$

$$I_{cc} = 494 \text{ Amp}$$

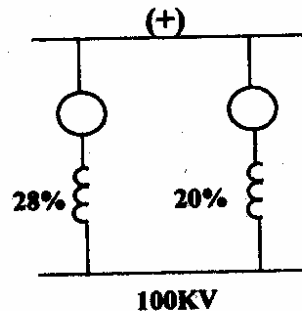
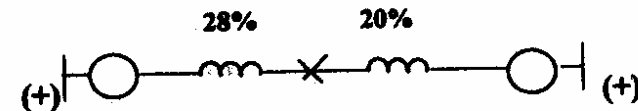
Tomando el factor de asimetría de 1.1

$$I_{cc} = \text{asimétrica} = 1.1 \times 494 = 543.4 \text{ A}$$

La potencia de cortocircuito asimétrica:

$$P_{ccASIMETRICA} = K \frac{KVA_{BASE}}{X\%} \times 100$$

$$P_{ccASIMETRICA} = 1.1 \frac{10000}{11.7} \times 100 = 94.5 \text{ KVA}$$



Reducción de la red.

Finalmente:

$$X\% = \frac{20 \times 28}{20 + 28} = 11.66$$



EL METODO DEL BUS INFINITO PARA CALCULOS DE CORTOCIRCUITO



EL PROCEDIMIENTO ANTERIOR MENCIONADO ES EL INDICADO, O SEA QUE:

- ✓ SE PARTE DE UN DIAGRAMA UNIFILAR EN DONDE SE REPRESENTAN LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA CON SUS DATOS DE POTENCIA, TENSION E IMPEDANCIAS.
- ✓ SE REFIEREN LAS IMPEDANCIAS A VALORES BASE DE POTENCIA Y TENSION.
- ✓ SE HACE LA REDUCCION DE INPEDANCIAS POR CONVINACIONES SERIE PARALELO Y TRANSFORMACIONES DELTA ESTRELLA O ESTRELLA DELTA, CUANDO SEA NECESARIO, HASTA OBTENER UNA INPEDANCIA EQUIVALENTE ENTRE LA FUENTE Y EL PUNTO DE FALLA SELECCIONADO.
- ✓ LAS CORRIENTES Y POTENCIA DE CORTOCIRCUITO EN EL PUNTO DE FALLA, SE CALCULAN COMO:



EL METODO DEL BUS INFINITO PARA CALCULOS DE CORTOCIRCUITO

$$\underline{I_{cc} = KVA_{base} / \sqrt{3}KV_{base} \times Z_{eq} (p.u.)}$$

SIENDO:

**I_{cc} : CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO SIMETRICA EN
APERES O KA.**

**KVA_{base} : BASE DE POTENCIA SELECCIONADA PARA EL
ESTUDIO.**

**Kv_{base} : BASE DE TENSION EN EL PUNTO DE FALLA
SELECCIONADO.**

**$Z_{eq} (p.u.)$: INPEDANCIA EQUIVALENTE ENTRE LA FUENTE
Y EL PUNTO DE FALLA EXPRESADA EN POR UNIDAD
(p.u.):**

**LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO ASIMETRICA SE
PUEDE CALCULAR COMO: $I_{ccA} = K I_{cc}$**



ING. OBED RENATO JIMENEZ MEZA

ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS

EL METODO DEL BUS INFINITO PARA CALCULOS DE CORTOCIRCUITO

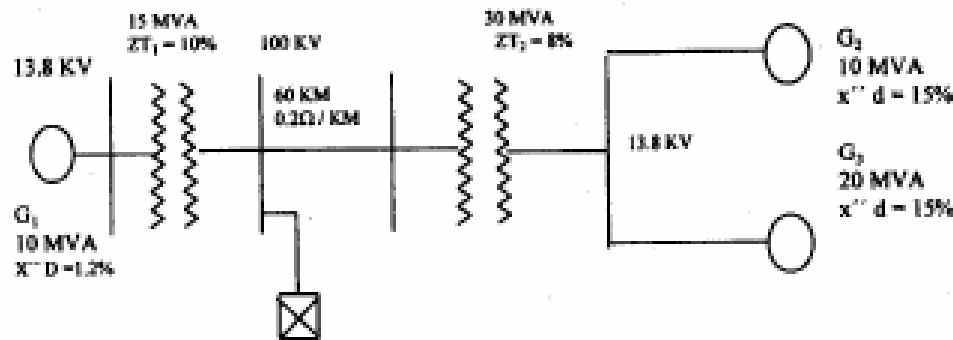


LA POTENCIA DE CORTOCIRCUITO EN EL PUNTO DE FALLA SE
PUEDE CALCULAR COMO:

$$\underline{P_{cc} = KVA \text{ base} / Z_{eq} \text{ (p.u.)}}$$



Ejemplo: Determinar la corriente de cortocircuito para una falla trifásica en un punto indicado en el sistema mostrado en la figura:



Solución:

En el primer paso en las soluciones obtener un diagrama de reactancias donde se representa cada elemento por su reactancia referidas a una base común en kVA para el sistema y kV para cada bus.

Por conveniencia es cómodo tomar como kVA_{BASE} la suma de estas potencias de generación:

$$KVA_{BASE} = 40000$$

$$KV_{BASE} \text{ en bajo voltaje} = 13.8 \text{ kV}$$

$$KV_{BASE} \text{ en alto voltaje} = 100 \text{ kV}$$

Refiriendo las reactancias del sistema a estos valores base:

Generador G1:

Aplicando la fórmula general se tiene:

$$X_{base1} = X_{base1} \frac{KVA_{BASE2}}{KVA_{BASE1}} \left(\frac{KV_{BASE1}}{KV_{BASE2}} \right)^2 = 12 \frac{40000}{10000} \left(\frac{13.8}{13.8} \right)^2 = 48\%$$

Transformador T1:

$$X_{T1} = 10 \frac{40000}{15000} \left(\frac{13.8}{13.8} \right)^2 = 26.6\%$$

Línea de transmisión:

$$X_{L1}\% = \frac{X(\Omega) KVA_{BASE}}{(KV_{BASE})^2 \times 10} = \frac{(0.2)(60)(40000)}{(100)^2 (10)} = 4.8\%$$

Transformador T2:

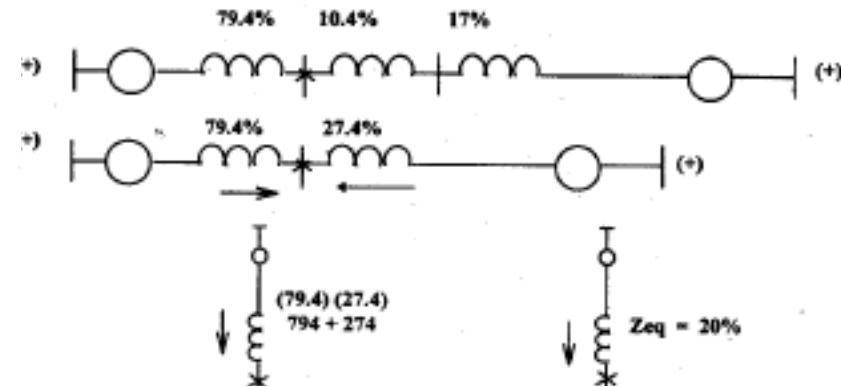
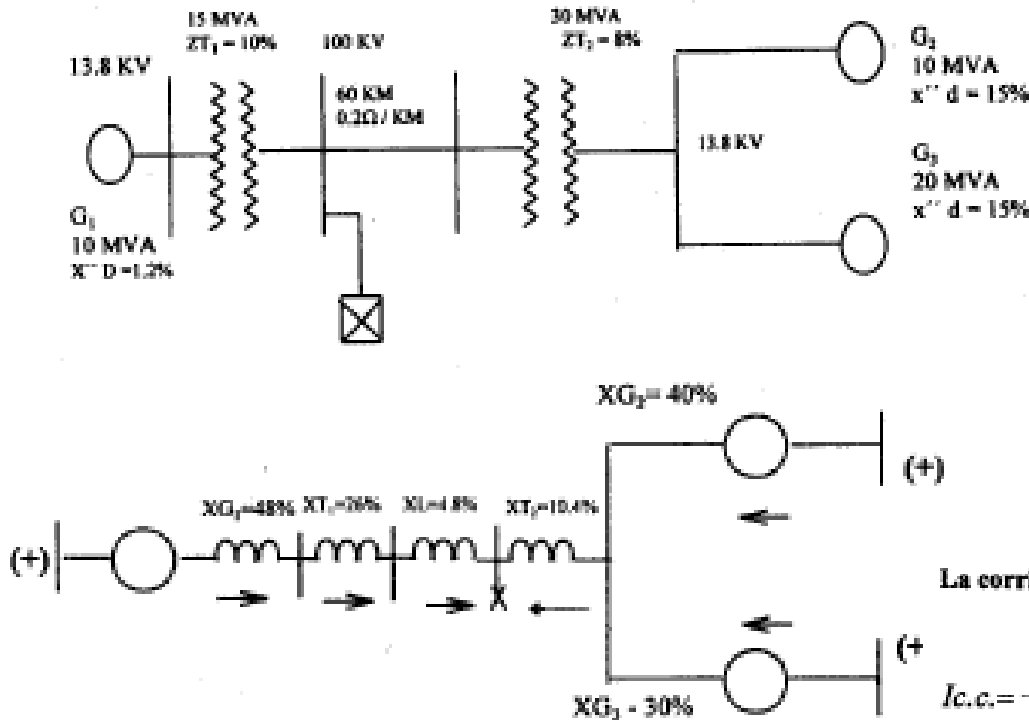
$$X_{T2}\% = 8 \frac{40000}{30000} \left(\frac{100}{100} \right)^2 = 10.4\%$$

Para el G2:

$$X_{G2} = 10 \frac{40000}{10000} \left(\frac{13.8}{13.8} \right)^2 = 40\%$$

Para el G3:

$$X_{G3} = 45 \frac{40000}{20000} \left(\frac{13.8}{13.8} \right)^2 = 30\%$$



La corriente de cortocircuito simétrica

$$I_{c.c.} = \frac{KVA_{BASE} \times 10}{\sqrt{3}(KV)Z_{eq}\%} = \frac{40000 \times 100}{1.73 \times 100 \times 20} = 1155 \text{ Amperes}$$

Tomando un factor de asimetría de 1.1 el cortocircuito asimétrico es:

$$I_{c.c. \text{ asimétrica}} = 1.1 \times 1155 = 1270.5 \text{ Amp.}$$

La potencia de cortocircuito:

$$P_{c.c. \text{ asimétrica}} = 1.1 \frac{KVA_{BASE}}{Z_{eq}\%} \times 100 = 220 \text{ MVA}$$