



SUBESTACIONES ELECTRICAS



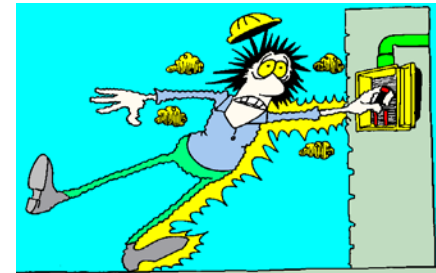
CAPITULO 2 (Articulo 110-10)

LOS ESTUDIOS EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS

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

Es cuando el circulo se hace mas corto como lo dice la palabra corto circuito (circuito corto), esto provoca que la impedancia sea menor y a su vez aumente 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**
 $Bx = \mu Hx = \mu I / 2\pi r^2$ (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...



¿Para que sirve conocer el cortocircuito ?

1. SELECCIÓN Y VERIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE LAS PROTECCIONES DE SOBRE CORRIENTE
2. SELECCIÓN Y VERIFICACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL (CALIBRE) DE CONDUCTORES.
3. ELABORAR ESTUDIOS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES.



2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

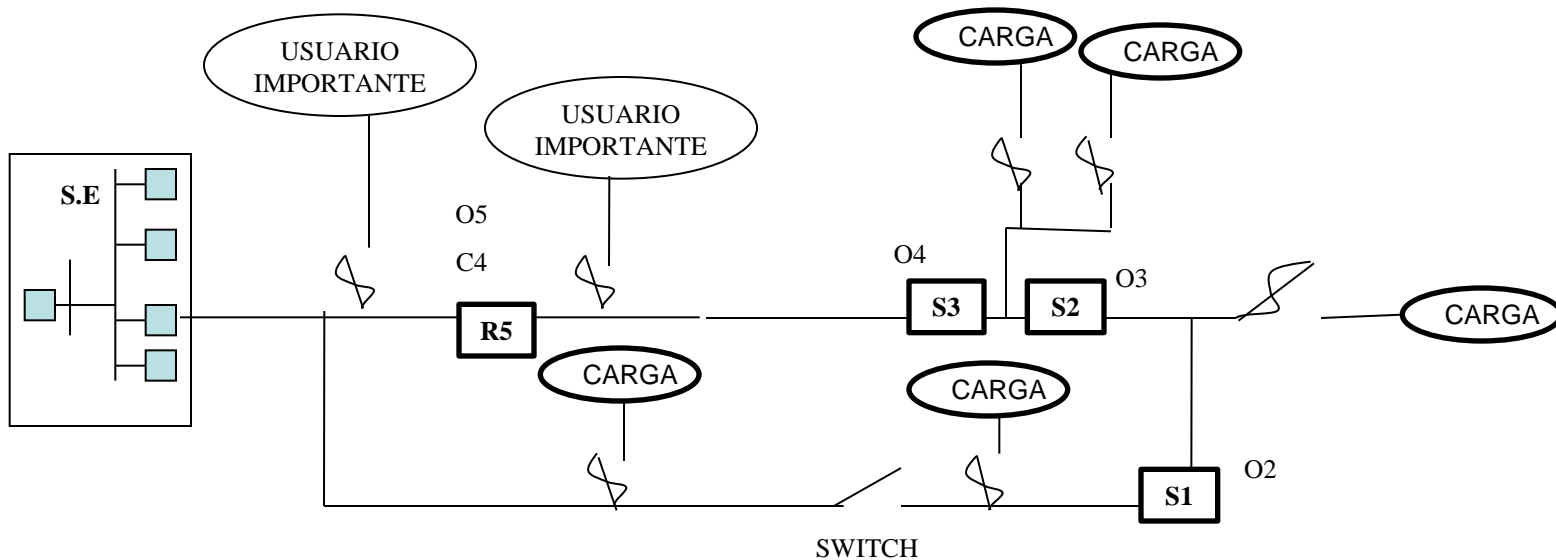
- PARA EVITAR EL RIESGO DE EL PERSONAL ES NECESARIO LA INSTALACION DE EQUIPOS DE PROTECCION COMO:
- RELEVADORES.
- INTERRUPTORES.
- FUSIBLES.
- RESTAURADORES.





2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

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



R1: RESTAURADOR CON CAMARA DE I_{cc}

S1: SECCIONALIZADOR ELECTRONICO

I CONTEO MENOS QUE EL TOTAL DE RECIERRES

M.C. OBED R. JIMENEZ MEZA .- JEFE DE
ACADEMIA DE ILUMINACION Y ALTA TENSION



MÉTODOS DE CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO

1.- BUS INFINITO

2.- POR UNIDAD (PU)

3.- MVA'S

4.- Z_{BUS} ò Y_{BUS}

5.- OHMICO

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.**



2.5.2 Componentes que limitan la corriente de cortocircuito.

Durante los cortocircuitos; son las impedancias de los transformadores, los reactores, cables, barras conductoras, fusibles limitadores de corriente y cualesquiera otras impedancias del circuito que se encuentren localizadas entre las fuentes apartadoras de corriente de cortocircuito y el punto de falla, los directos limitadores de corriente de cortocircuito en un sistema eléctrico, la corriente nominal demandada por el mismo es despreciada y las cargas pasivas o que no contribuyen a la corriente de cortocircuito son eliminadas.



Características de reactancia que limitan la magnitud de la corriente de falla.

Reactancia del transformador

Aunque en algunas ocasiones se considera a los transformadores como fuentes de corrientes de cortocircuito, en realidad esto es falso. Los transformadores cambian las magnitudes de tensión y corriente pero no los generan.

Reactores

Los reactores se usan para limitar las corrientes de cortocircuito mediante la inserción deliberada de una reactancia en el circuito. Sin embargo, los reactores tienen algunas desventajas muy marcadas. Producen caídas de tensión que pueden ser el motivo de disminuciones momentáneas de tensión en el sistema cuando ocurre una falla, o cuando se arrancan los motores de gran capacidad. Pueden afectar desfavorablemente la regulación de tensión y pueden activar los dispositivos de baja tensión, además de consumir energía

Cables

Los cables y barras conductoras son parte de la conexión entre las fuentes de corriente de cortocircuito y el punto de falla. Su impedancia natural limita la corriente de cortocircuito, y la cuantía de la limitación depende de la naturaleza, calibre y longitud del cable. Algunos diseños de barras conductoras se prestan para incrementar la impedancia deliberadamente. Los valores de resistencia, reactancia e impedancia de cables y barras conductoras se encuentran en los¹² catálogos de los fabricantes



Fusibles limitadores de corriente

Estos abren el circuito antes de que la corriente de cortocircuito alcance su valor pico. La interrupción sucede generalmente en el primer cuarto del ciclo, el tiempo total de interrupción es la suma de un tiempo de fusión mientras que el elemento del fusible se calienta y se funde, y un tiempo de arqueo luego de que el elemento se funde y los productos gaseosos del arco se enfrían debido a los efectos de los componentes adicionales del fusible. El arco origina impedancia, la cual limita la corriente reduciéndola finalmente a cero. El fusible limitador de corriente tiene una baja impedancia hasta que una corriente muy alta empieza a fluir a través del mismo. Es a la vez un dispositivo limitador de corriente e interruptor de corriente de cortocircuito, mientras que los fusibles disyuntores normales sólo son dispositivos interruptores.



Reactancia de las máquinas rotatorias.

Las reactancias de las maquinas rotatorias se expresan en términos de su valor nominal de potencia en kVA. Cualquiera de los valores de reactancia subtransitoria, transitoria o síncrona se selecciona, dependiendo del tipo de cortocircuito que se esté analizando.

Como en algunas ocasiones la potencia de los motores se expresa en CP, su valor en kVA se puede determinar de acuerdo a las siguientes expresiones contenidas

Obtención de kVA para maquinas rotatorias a partir de su potencia en CP para cálculo de cortocircuito.

CLASE DE MÁQUINA	EXPRESIÓN MATEMÁTICA
TODAS	$\frac{V_{nominal} \times I_{nominal}}{1000}$ Valor exacto
MOTORES DE INDUCCIÓN Y MOTORES SÍNCRONOS A 0.8 DE F.P.	Valor de potencia nominal en CP (Valor aproximado)
MOTORES SÍNCRONOS CON FACTOR DE POTENCIA =1	0.8 x CP nominales (valor aproximado)



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)



Reactancia subtransitoria

Es la reactancia aparente del estator en el instante en que se produce el cortocircuito y determina la corriente en el devanado del estator durante los primeros ciclos mientras dure el cortocircuito. Este valor dura unos pocos ciclos después de que ocurre la falla y se incrementa al siguiente valor en aproximadamente 0.1 segundo.

Reactancia transitoria

Se trata de la reactancia inicial aparente del devanado del estator si se desprecian los efectos de todos los arrollamientos del campo inductor. Esta reactancia determina la intensidad que circula durante el intervalo posterior al que se indicó anteriormente y en el que la reactancia subtransitoria constituye el factor decisivo. La reactancia transitoria hace sentir sus efectos durante 1.5 segundos o más, según la construcción de la máquina.



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.



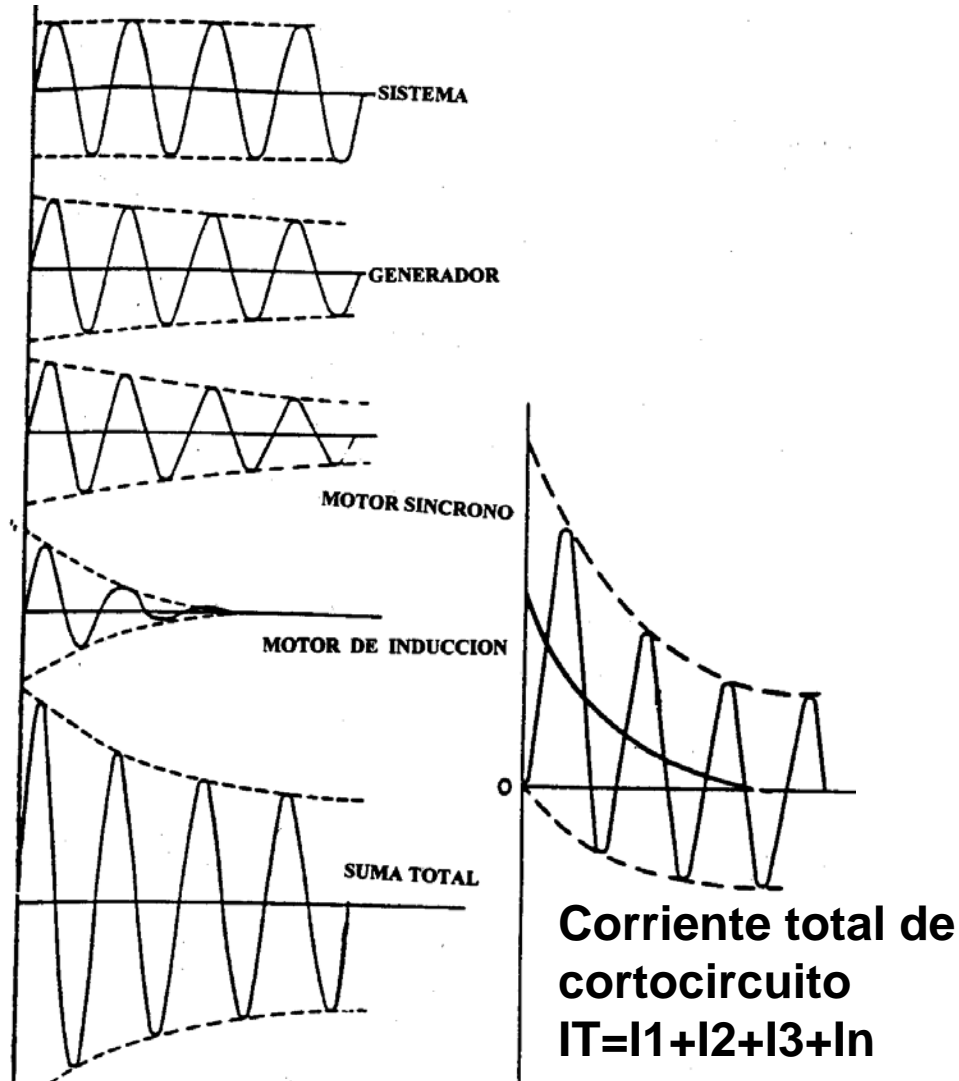
2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

- 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)

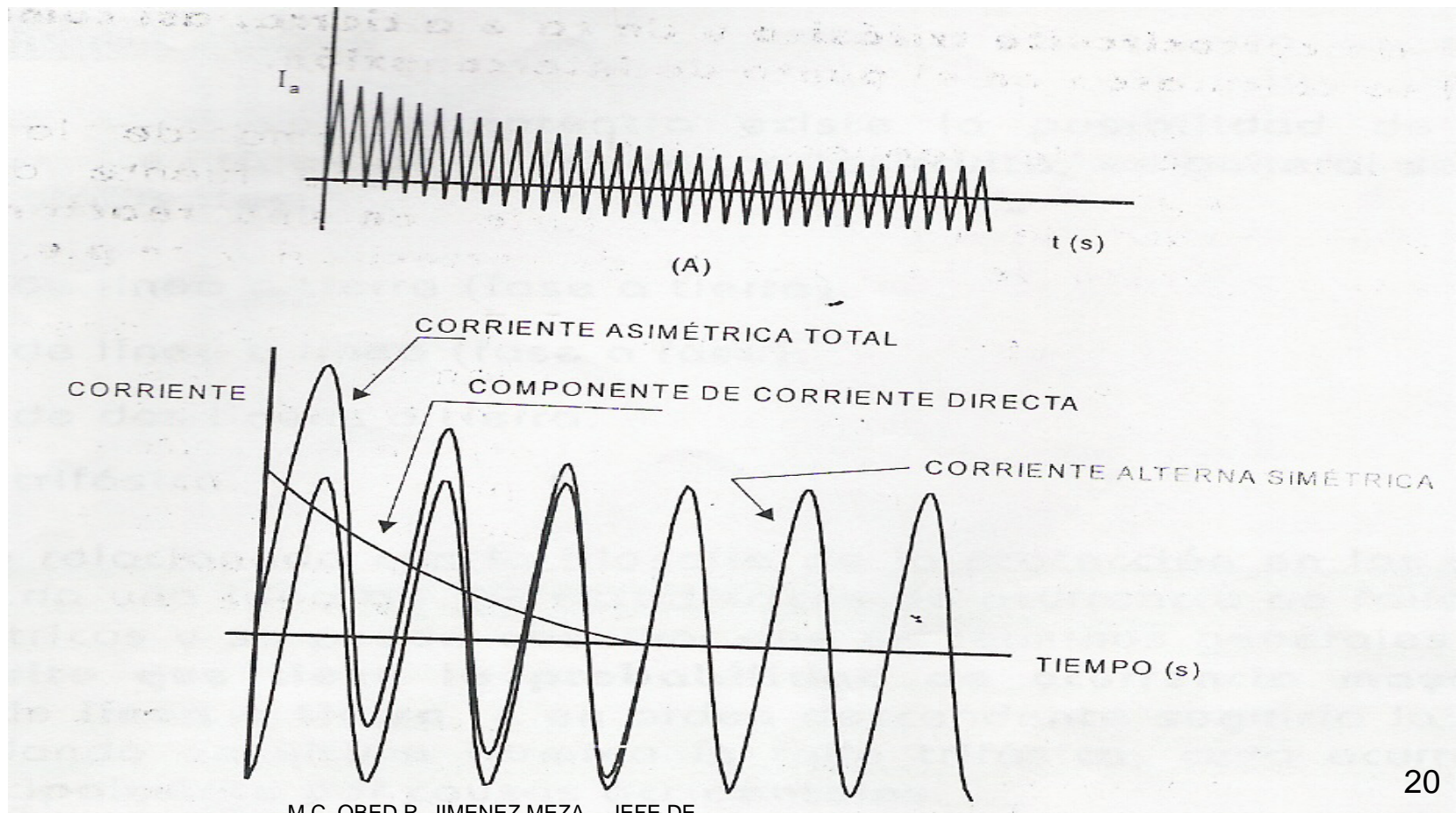


2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO



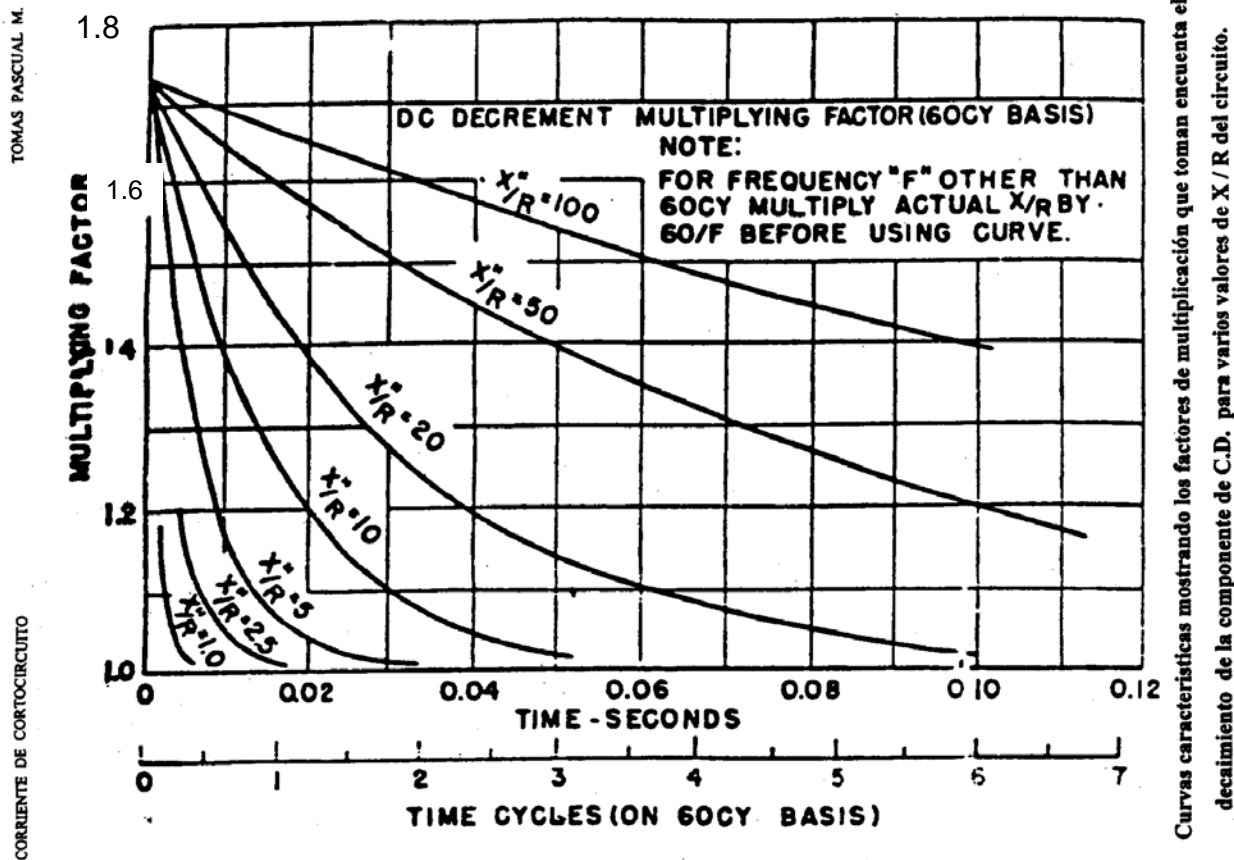
2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

- 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



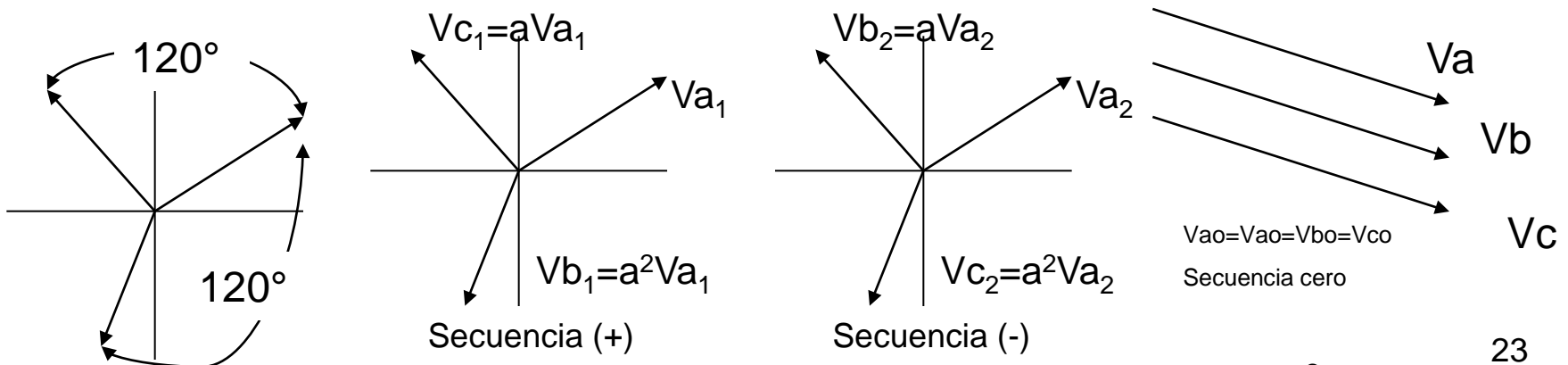
2.3 CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

- 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.



$$1+a+a^2=0$$



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** .



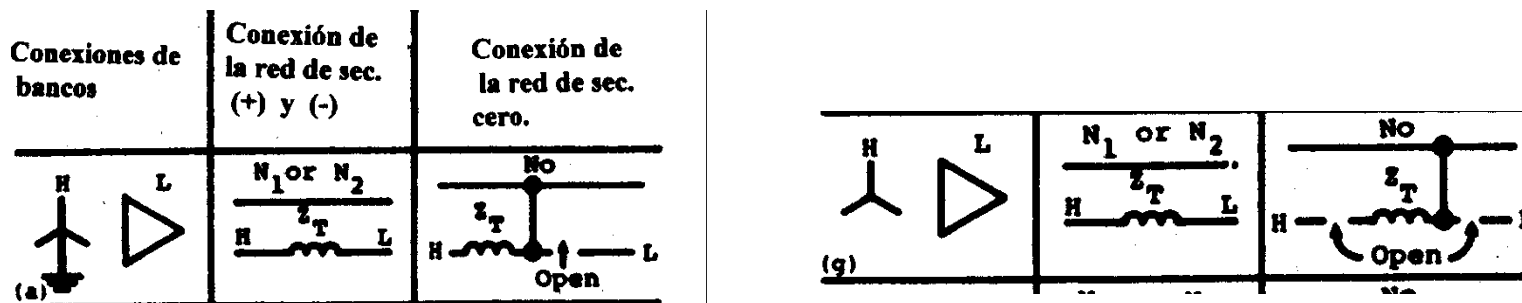
DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS DE SECUENCIA NEGATIVA

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.

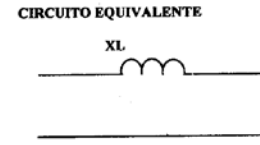
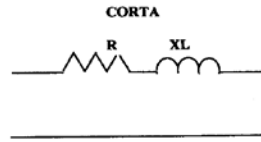
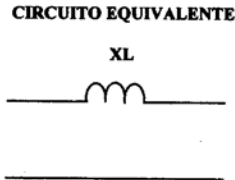
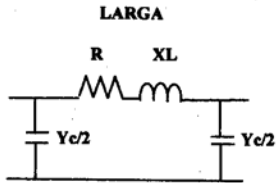
DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS DE SECUENCIA CERO

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.

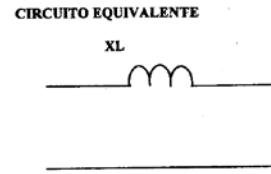
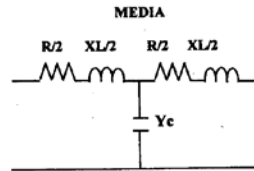




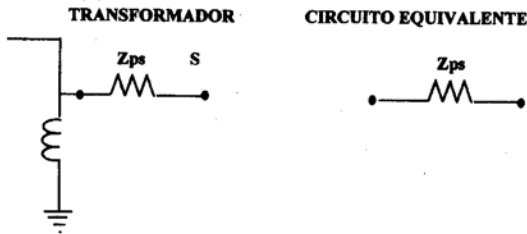
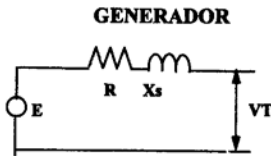
LINEA LARGA



LINEA MEDIANA

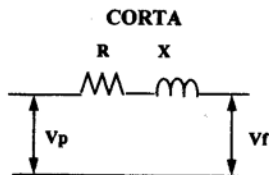


B) Flujo de carga.



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

LINEAS DE TRANSMISION



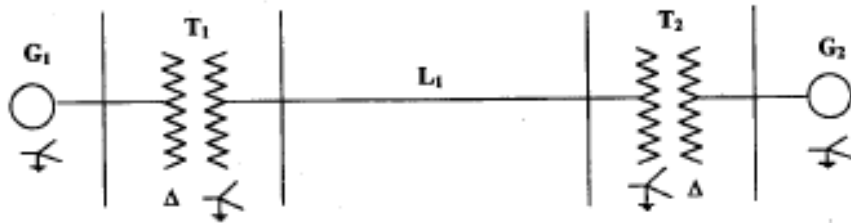
Conexiones de ancos	Conexión de la red de sec. (+) y (-)	Conexión de la red de sec. cero.
1)	N_1 or N_2 	No
2)	N_1 or N_2 	No
3)	N_1 or N_2 	No
4)	N_1 or N_2 	No
5)	N_1 or N_2 	No
6)	N_1 or N_2 	No
7)	N_1 or N_2 	No
8)	N_1 or N_2 	No

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

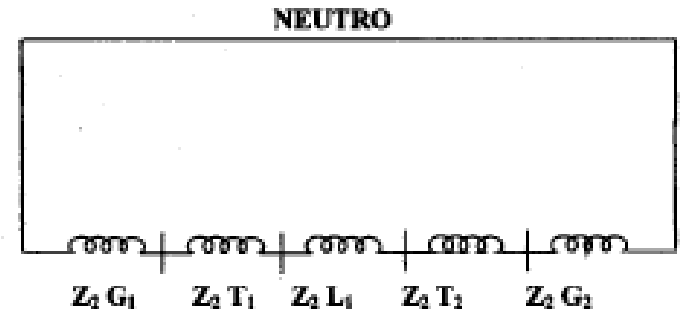
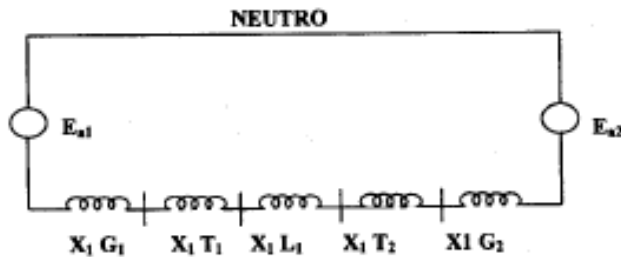


Ejemplo

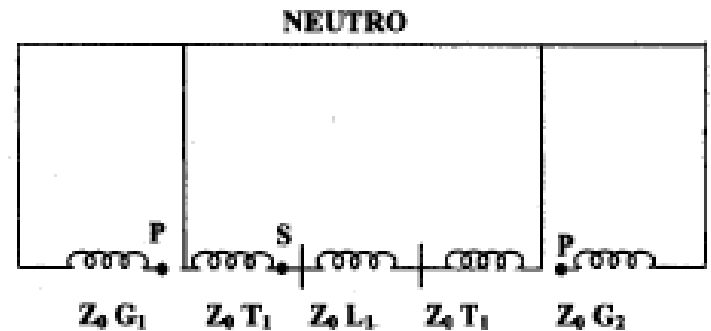
Conexiones de bancos	Conexión de la red de sec. (+) y (-)	Conexión de la red de sec. cero.
Red de secuencia (-)		

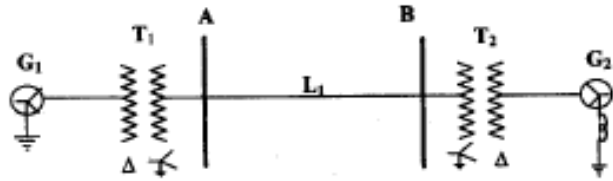


Red de secuencia (+)

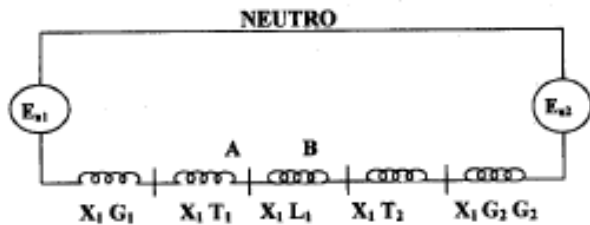


Red de secuencia (0)

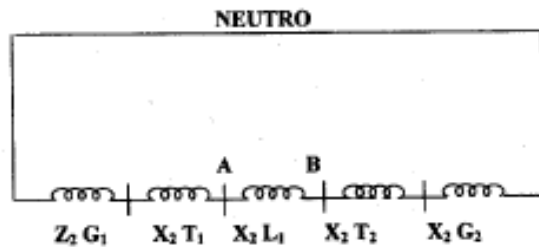




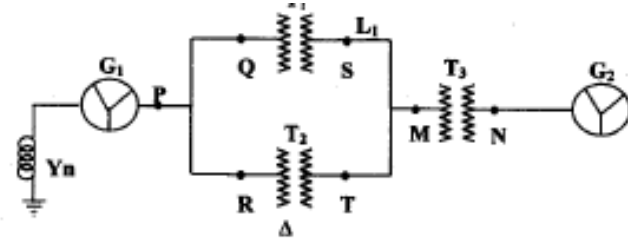
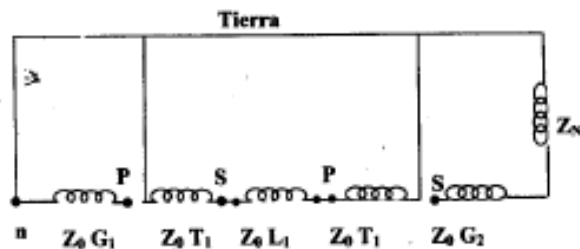
SEC (+)



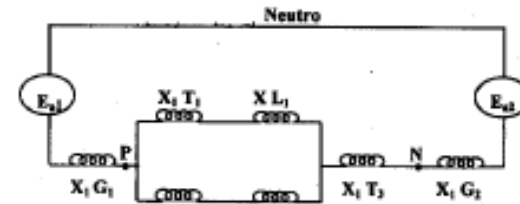
SEC (-)



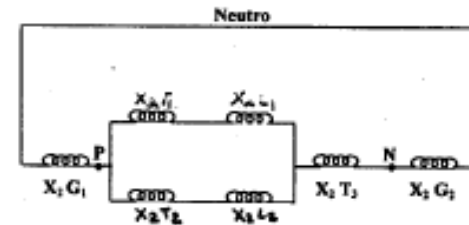
SEC (0)



Sec. (+):



Sec. (-):



Sec. (0):

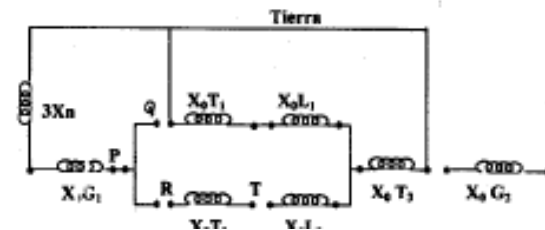




DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS DE SECUENCIA CERO

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 :

$$I_{cc} = \frac{3E}{X1+X2+X0} \text{ (P.U.)}$$

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**



$$VA_{base} = \frac{V_{BASE}^2}{Z_{BASE}}$$

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

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

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.

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

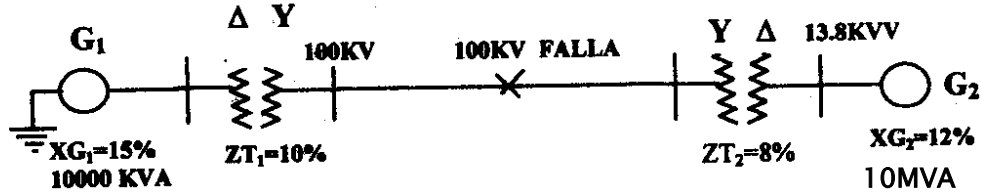
Si se desea expresar una impedancia en p.u.:

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

Sustituyendo 8 en 9

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

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

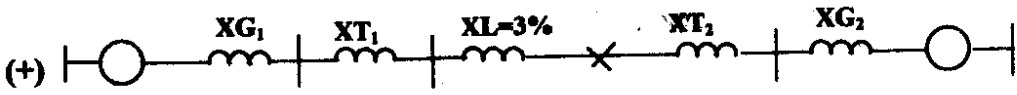


La corriente de cortocircuito simétrica:

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

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.

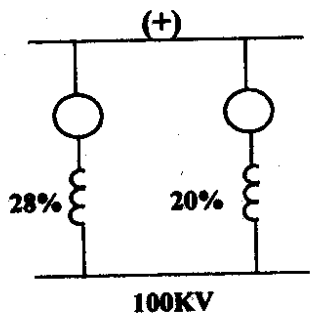
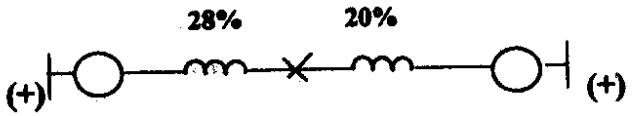


$$I_{cc} = \frac{10000 \times 100\%}{\sqrt{3} (100) (11.667\%)} = 494 \text{ A}$$

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

Tomando el factor de asimetría de 1.1

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



Reducción de la red.

La potencia de cortocircuito asimétrica:

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

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

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 CONVINCIONES 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



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

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: $I_{ccA} = K_{ICC}$**



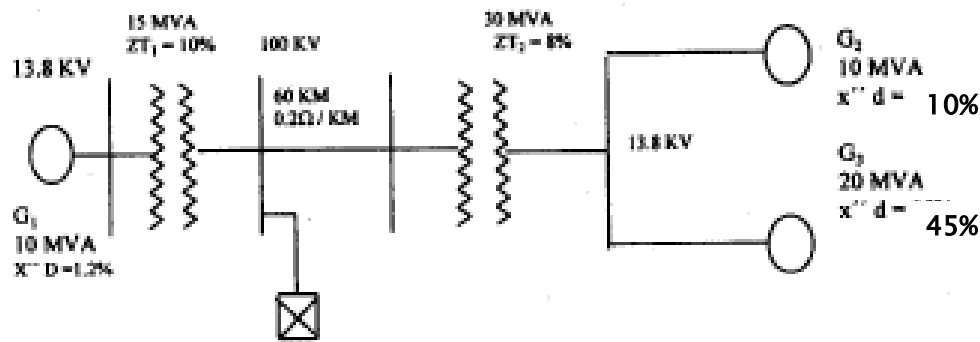
EL METODO DEL BUS INFINITO PARA CALCULOS DE CORTOCIRCUITO



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:

$$X_{base1} = X_{base2} \frac{KVA_{base2}}{KVA_{base1}} \left(\frac{KV_{base1}}{KV_{base2}} \right)^2 = 12 \frac{40000}{10000} \left(\frac{13.8}{13.8} \right)^2 = 48\%$$

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:

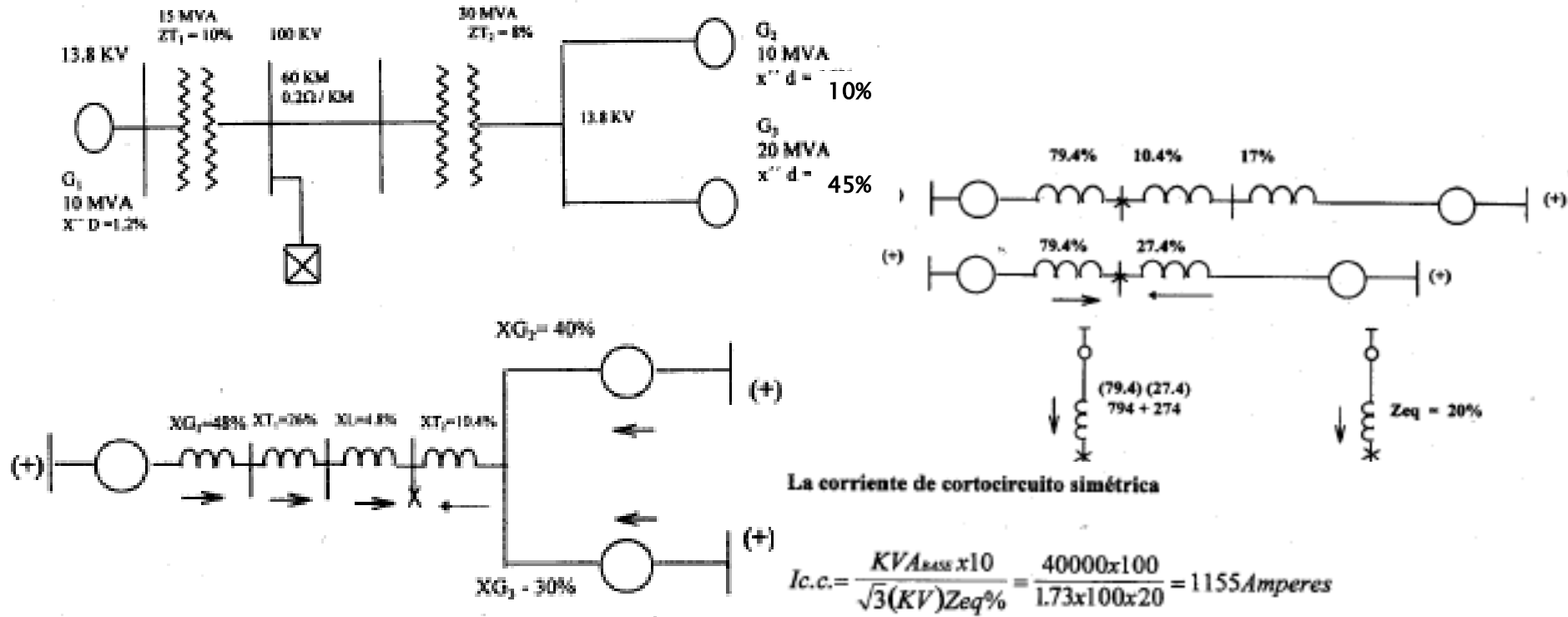
$$X_{T2}\% = 8 \frac{40000}{30000} \left(\frac{100}{100} \right)^2 = 10.4\%$$

Para el G2:

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

Para el G3:

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



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:

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



CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR UNIDAD (PU).

VALOR POR UNIDAD

Se define un valor por unidad (pu), al cociente de una cantidad cualquiera entre un valor base:

$$\text{Valor por unidad} = \frac{\text{Cantidad cualquiera}}{\text{Valor base}}$$



CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR UNIDAD (PU).



EJEMPLO:

Si seleccionamos el valor base 120 KV, los voltajes 108, 120 y 126 KV tendrán los siguientes valores por unidad:

$$\frac{108 \text{ KV}}{120 \text{ KV}} = 0.9 \text{ pu}$$

$$\frac{120 \text{ KV}}{120 \text{ KV}} = 1.0 \text{ pu}$$

$$\frac{126 \text{ KV}}{120 \text{ KV}} = 1.05 \text{ pu}$$



ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS
**CALCULO DE CORTOCIRCUITO
POR UNIDAD (PU).**



★ Los parámetros eléctricos algunas veces se expresan como valores por unidad (pu) y otras como valores en por ciento (%)

Valor en por ciento = Valor por unidad x 100



CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR UNIDAD (PU).



VENTAJA.

Los valores por unidad tiene una ventaja sobre los valores en por ciento, ya que el producto de dos cantidades expresadas en por unidad se expresa asimismo en por unidad, mientras que el producto de dos cantidades en por ciento debe dividirse entre 100 para obtener el resultado en por ciento.



ING. OBED RENATO JIMENEZ MEZA

ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS
**CALCULO DE CORTOCIRCUITO
POR UNIDAD (PU).**



CANTIDADES BASE

Para el análisis de las redes eléctricas, se utilizan cuatro cantidades base:

Potencia base KVA o MVA

Voltaje base KV

Corriente base A

Impedancia base Ohms

Estas cuatro cantidades están relacionadas de tal manera que la selección de valores para dos de ellas, determina los valores base para las otras dos.



CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR UNIDAD (PU).

EJEMPLO:

En un sistema trifásico, seleccionamos una potencia base trifásica y un voltaje base línea a línea, la corriente base y la impedancia base pueden calcularse como:

$$I_B = \frac{KVA_{\theta}}{\sqrt{3} KV_{\theta}} = \text{amperes}$$

$$Z_B = \frac{KV_{\theta}^2 \times 100}{KVA_{\theta}} \text{ ohms} \quad \text{ó} \quad Z_{\theta} = \frac{KV_{\theta}^2}{MVA_{\theta}}$$



CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR UNIDAD (PU).

Teniendo definidas las cantidades base, se puede normalizar cualquier cantidad del sistema eléctrico dividiéndola entre el valor base de la misma dimensión. Así la impedancia en por unidad está definida como:

$$z_{pu} = \frac{z_{ohms}}{z_{base(ohms)}} .$$



CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR UNIDAD (PU).

CAMBIO DE BASE

Esta conversión puede determinarse expresando una misma impedancia en ohms en dos diferentes bases:

$$Z_{1pu} = \frac{MVA_1 Z_{\Omega}}{KV_1^2}$$

$$Z_{2pu} = \frac{MVA_2 Z_{\Omega}}{KV_2^2}$$

Relacionando estas dos ecuaciones:

$$\frac{Z_{2pu}}{Z_{1pu}} = \frac{MVA_2 Z_{\Omega}}{KV_2^2} \times \frac{KV_1^2}{MVA_1}$$



CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR UNIDAD (PU).

$$Z_{2pu} = Z_{1pu} \frac{MVA_2}{MVA_1} \times \frac{KV_1^2}{KV_2^2}$$

En la mayoría de los casos los voltajes nominales de los transformadores coinciden con los voltajes seleccionados, por lo que la ecuación anterior se reduce a:

$$Z_{2pu} = Z_{1pu} \frac{MVA_2}{MVA_1}$$

$$Z_{nueva} = Z_{en P.U. de equipo} * \frac{P_{base}}{P_{equipo}} \dots P.U.$$



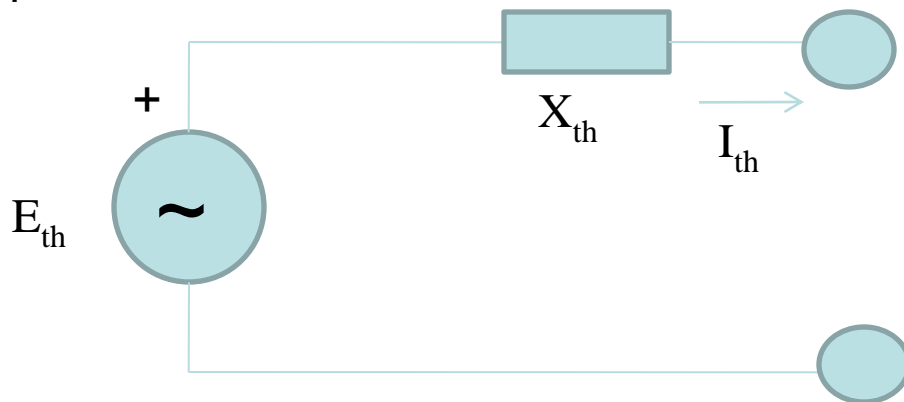
CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR UNIDAD (PU).

METODOS DE SOLUCION

CALCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO POR EL METODO DE COMPONENTES SIMETRICAS EMPLEANDO VALORES EN POR UNIDAD.

primer paso para calcular la potencia y corriente de corto circuito simétrico, es establecer una base de potencia en KVA o MVA y una base de voltaje en KV y convertir todas las impedancias del sistema a valores en por unidad en dichas bases.

aplicación del teorema de Thevenin al sistema.





CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR UNIDAD (PU).

La corriente de corto circuito se puede entonces calcular en P.U. por la siguiente relación:

$$I_{th} = I_{pu} = \frac{E_{pu}}{X_{pu}} \text{ ----- PU}$$

La corriente de cortocircuito en Amperes se determina multiplicando la corriente en por unidad por la corriente base:

$$I = I_{p.u.} \times I_{base} \text{ Amperes}$$

DONDE:

$$I_{base} = \frac{KVA_{base}}{\sqrt{3} \times KV_{base}}$$

La potencia de corto circuito en MVA será:

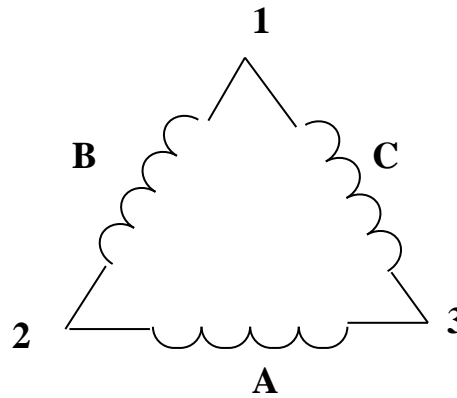
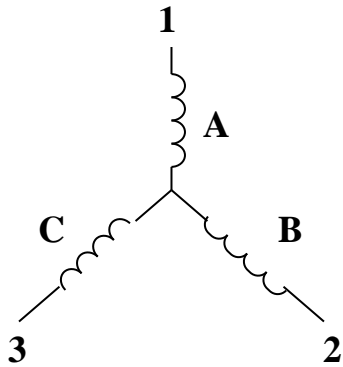
$$P_{cc} = \frac{E_{p.u.}^2}{X_{p.u.}} * P_{base_{mva}} \text{ ----- MVA}$$



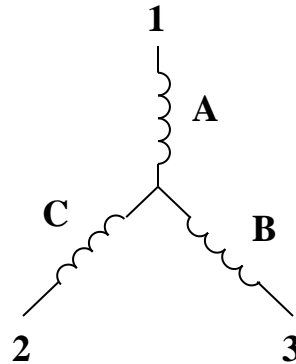
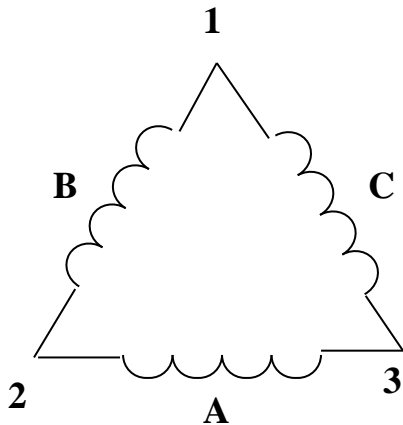
CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR UNIDAD (PU).



Fórmulas para las transformaciones delta-estrella y estrella-delta.



$$A = \frac{b * c}{a} + b + c$$
$$B = \frac{a * c}{b} + a + c$$
$$C = \frac{a * b}{c} + a + b$$



$$a = \frac{B * C}{A+B+C}$$
$$b = \frac{A * C}{A+B+C}$$
$$c = \frac{A * B}{A+B+C}$$



EJEMPLO

CALCULO DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO METODO P.U.



OBJETIVO

- Determinar las potencias o corrientes de corto circuito en los buses del sistema eléctrico para verificar las capacidades interruptivas de los dispositivos de protección (fusibles, interruptores), así como para calcular la sección de conductores alimentadores por corto circuito.



MÉTODO DE CÁLCULO

Se empleará el método de valores en por unidad, obteniendo con la aplicación del teorema de Thévenin, una impedancia equivalente y un voltaje en cada punto de falla.



OBSERVACIONES

- Las cargas de alumbrado no contribuyen con corrientes de corto circuito a los puntos de falla.
- Se considerará para fines prácticos
 $1 \text{ HP} = 1 \text{ KVA}$



DATOS DE LA CIA. SUMINISTRADORA PARA EL PUNTO DE ACOMETIDA

- Voltaje nominal: 13.2 KV
- No. de fases: 3
- No. de hilos: 3
- Potencia de corto circuito trifásica: 250 MVA
- Frecuencia: 60 Hz.

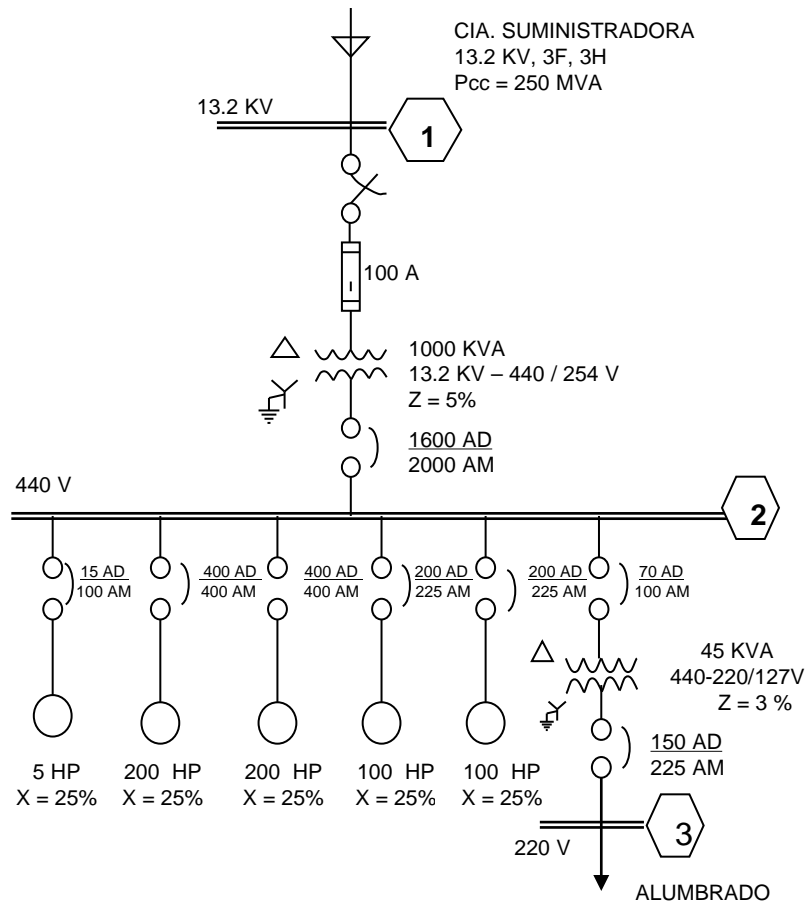


PROCEDIMIENTO DE CALCULO

- Selección de cantidades base.
- Conversión de impedancias a una base común
- Diagrama de impedancias en por unidad (Red de secuencia Negativa.)
- Reducción de la red en cada punto de falla y cálculo de potencias y/o corrientes de corto circuito.



DIAGRAMA UNIFILAR





Conforme al procedimiento:

4. SELECCIÓN DE CANTIDADES BASE.

En bus 1: Potencia Base = 1000 KVA

Voltaje Base = VOLTAJE EN CADA BUS

5. CONVERSION DE IMPEDANCIAS A UNA BASE COMUN

Cía. Suministradora:

$$X = 1000/250000 = 0.004 \text{ pu}$$

Motor 100 HP:

$$X = (0.25)(1000/100) = 2.5 \text{ pu}$$

TRANSFORMADOR 1000 KVA:

$$X = 0.05 \text{ pu}$$

MOTOR 5 HP:

$$X = (0.25)(1000/5) = 50.0 \text{ pu}$$

MOTOR 200 HP:

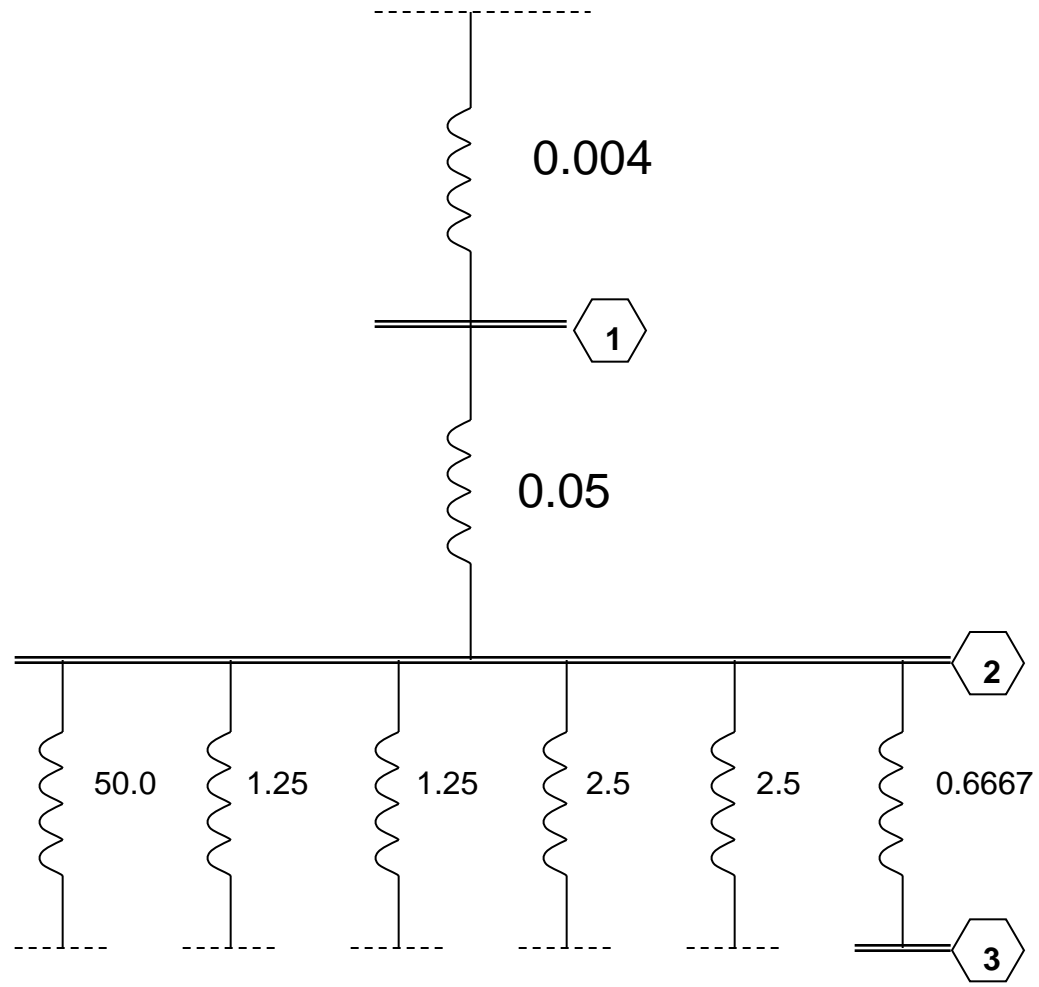
$$X = (0.25)(1000/200) = 1.25 \text{ pu}$$

TRANSFORMADOR 45 KVA:

$$X = (0.03)(1000/45) = 0.6667 \text{ pu}$$

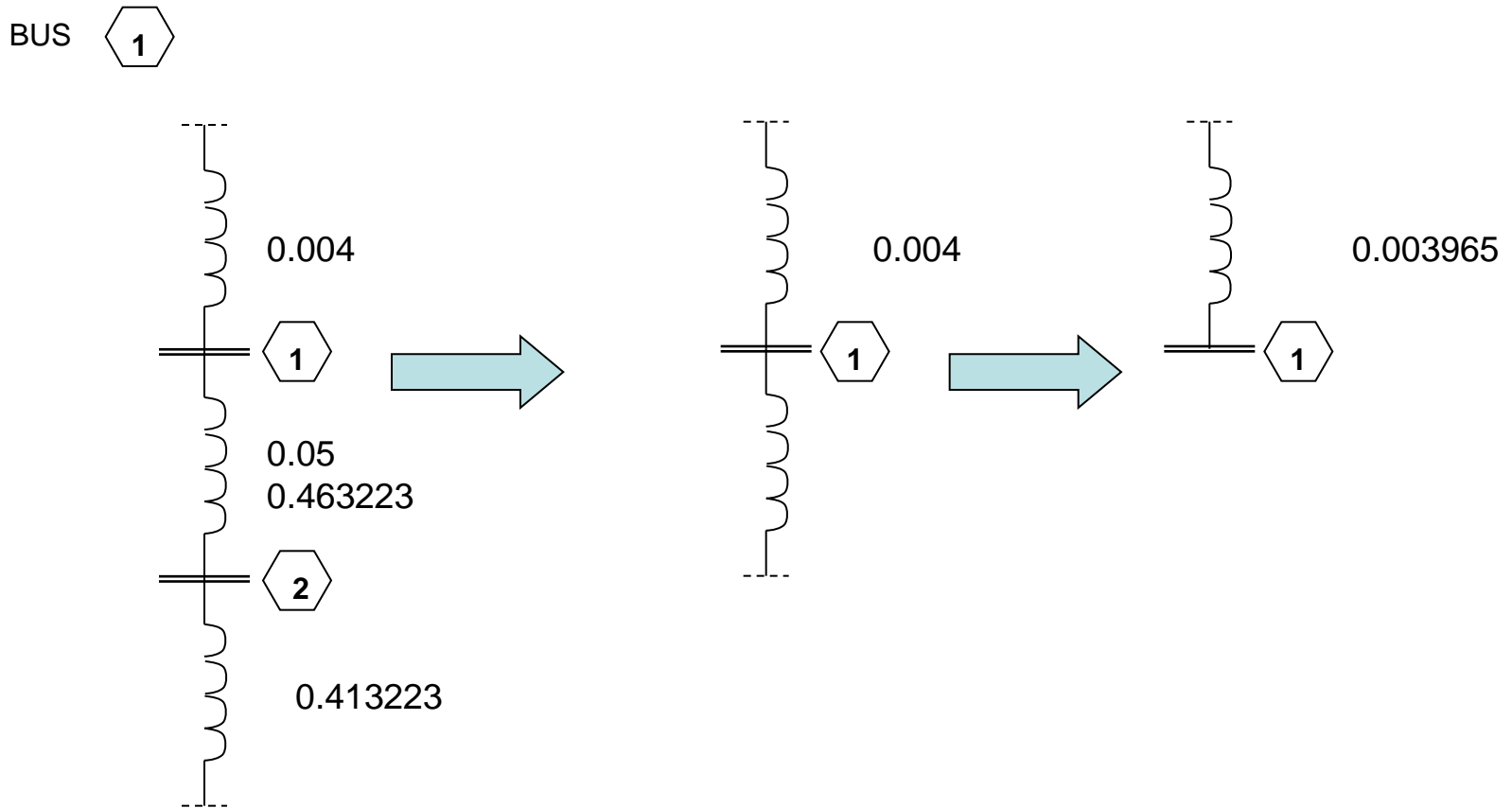


6. DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS EN POR UNIDAD O RED DE SECUENCIA NEGATIVA.





7. REDUCCION DE LA RED PARA CADA PUNTO DE FALLA Y CALCULO DE POTENCIAS Y/O CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO.





CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO

$$I_{PU} = \frac{1}{0.003965} = 252.158 \text{ pu}$$

$$I_{base} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 13.2} = 43.738 \text{ A}$$

$$I_{cc3f} = 252.158 \times 43.738 = 11028.92 \text{ Amp.}$$



POTENCIA DE CORTO CIRCUITO

$$P_{cc} = 3 \times 13.2 \times 11.02892 = 252.154 \text{ MVA}$$

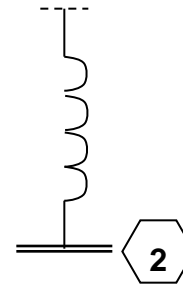
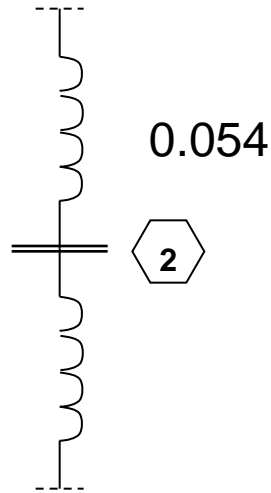
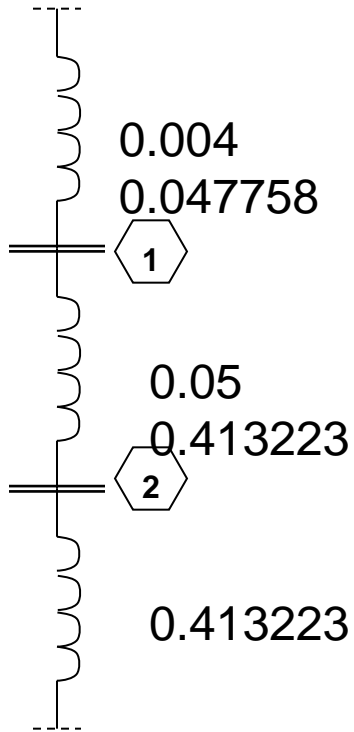
Ó

$$P_{cc} = \frac{1}{X} * P_b$$

$$P_{cc} = \frac{1}{003965} \times 1.0 = 252.158 \text{ MVA}$$



BUS 





CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO

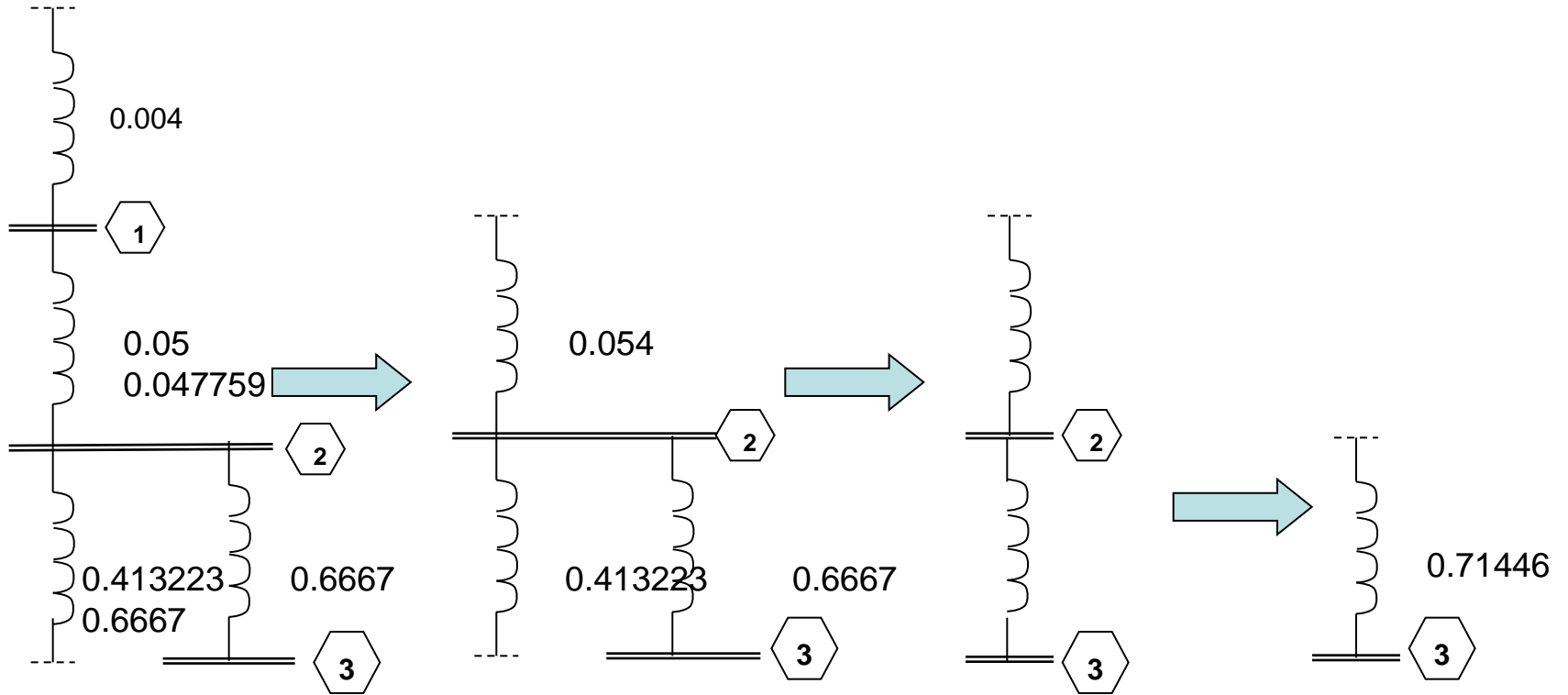
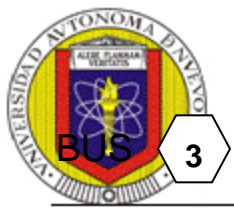
$$I_{pu} = \frac{1}{0.047758} = 20.939 \text{ pu}$$

$$I_{base} = \frac{1000}{\sqrt{3 \times 0.44}} = 1312.159 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc} = 20.939 \times 1312.159 = 27475.16 \text{ Amp.}$$

$$P_{cc} = \sqrt{3} * V_b * I_{cc}$$

$$P_{cc} = \sqrt{3} * 0.44 * 27.47516 = 20.938 \text{ MVA}$$





CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO

$$I_{pu} = \frac{1}{0.71446} = 1.39966 \text{ pu}$$

$$I_{base} = \frac{1000}{\sqrt{3 \times 0.22}} = 2624.3 \text{ A}$$

$$I_{cc} = 1.39966 \times 2624.3 = 3673.14 \text{ Amp.}$$

$$P_{cc} = \sqrt{3} * 0.22 * 3.67314 = 1.398 \text{ MVA}$$



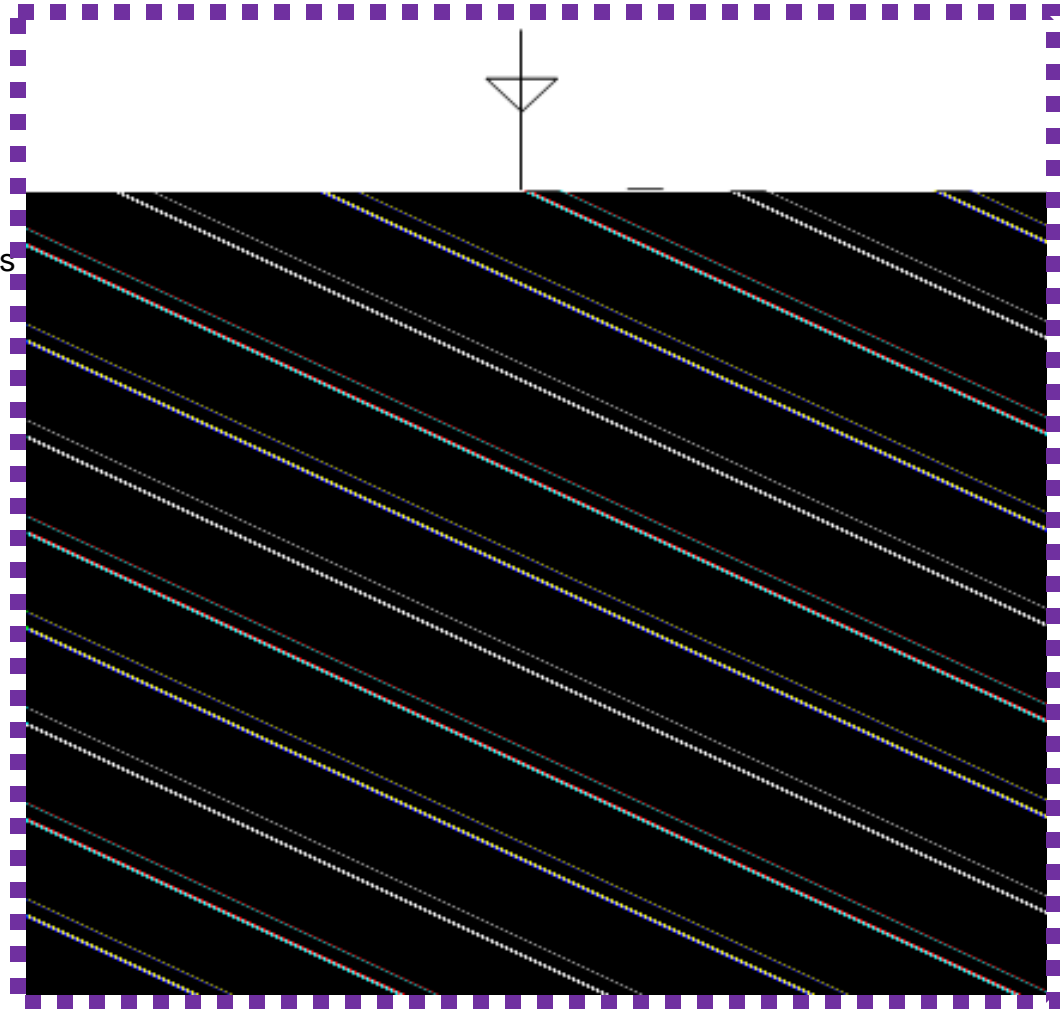
CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR UNIDAD (PU).

**FIGURA 1. CIRCULACION DE CORRIENTE DE FALLA POR
FUSIBLE DE ALTA TENSION**

$$I_{\text{base}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 0.22} = 2624.3 \text{ A}$$

$$I_{\text{cc}} = 1.39966 \times 2624.3 = 3673.14 \text{ Amperes}$$

$$P_{\text{cc}} = \sqrt{3} \times 0.22 \times 3.67314 = 1.398 \text{ MVA}$$

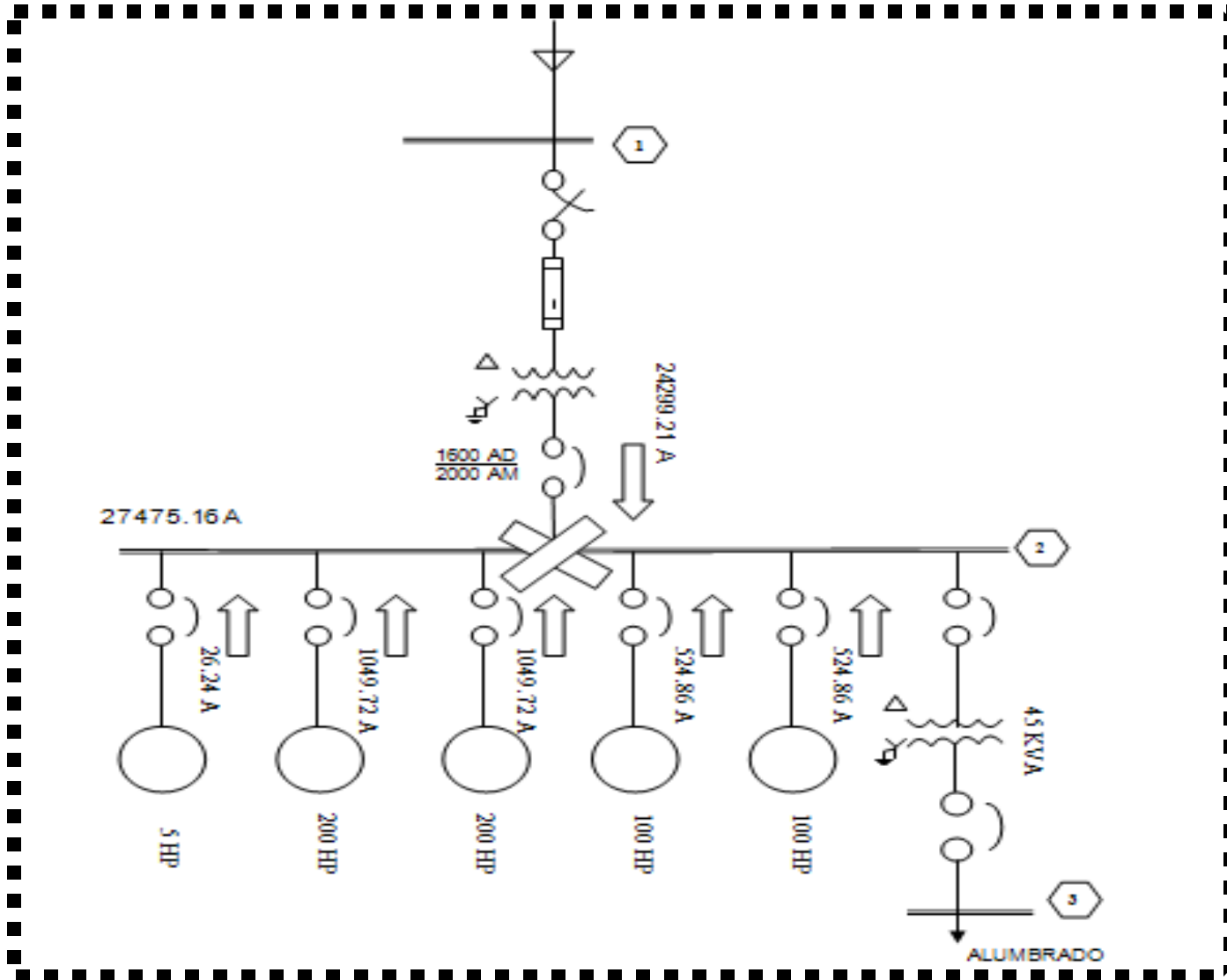




ING. OBEID RENATO JIMENEZ MEZA
CALCULO DE CORTOCIRCUITO
ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS
POR UNIDAD (PU).



FIGURA 2. CIRCULACION DE CORRIENTE DE FALLA POR INTERRUPTOR PRINCIPAL DE BAJA TENSION.

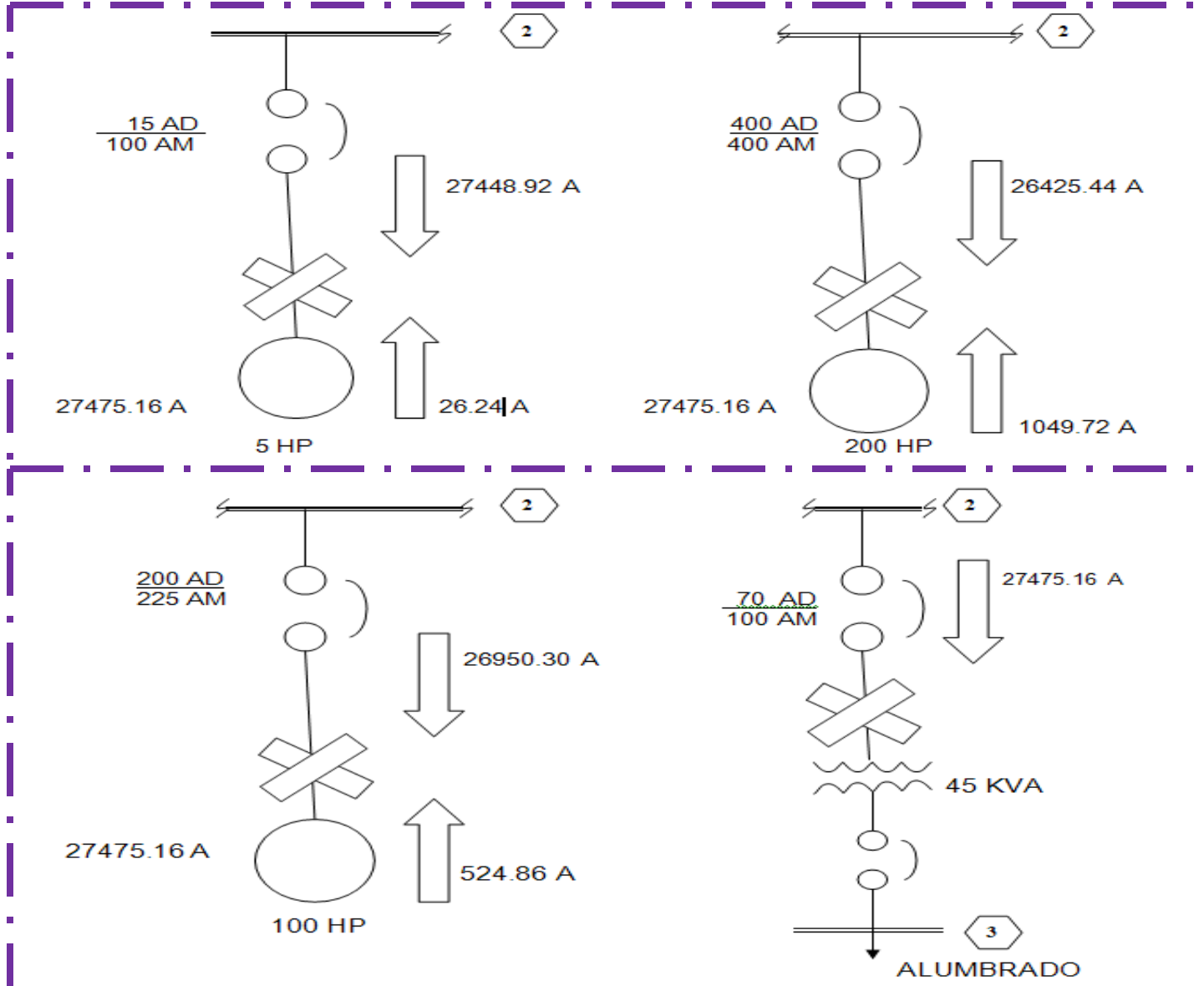




ING. OBEID RENATO JIMENEZ MEZA
CALCULO DE CORTOCIRCUITO
ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS
POR UNIDAD (PU).



FIGURA 3. CIRCULACION DE CORRIENTES DE FALLA POR INTERRUPTORES DERIVADOS DE BAJA TENSION

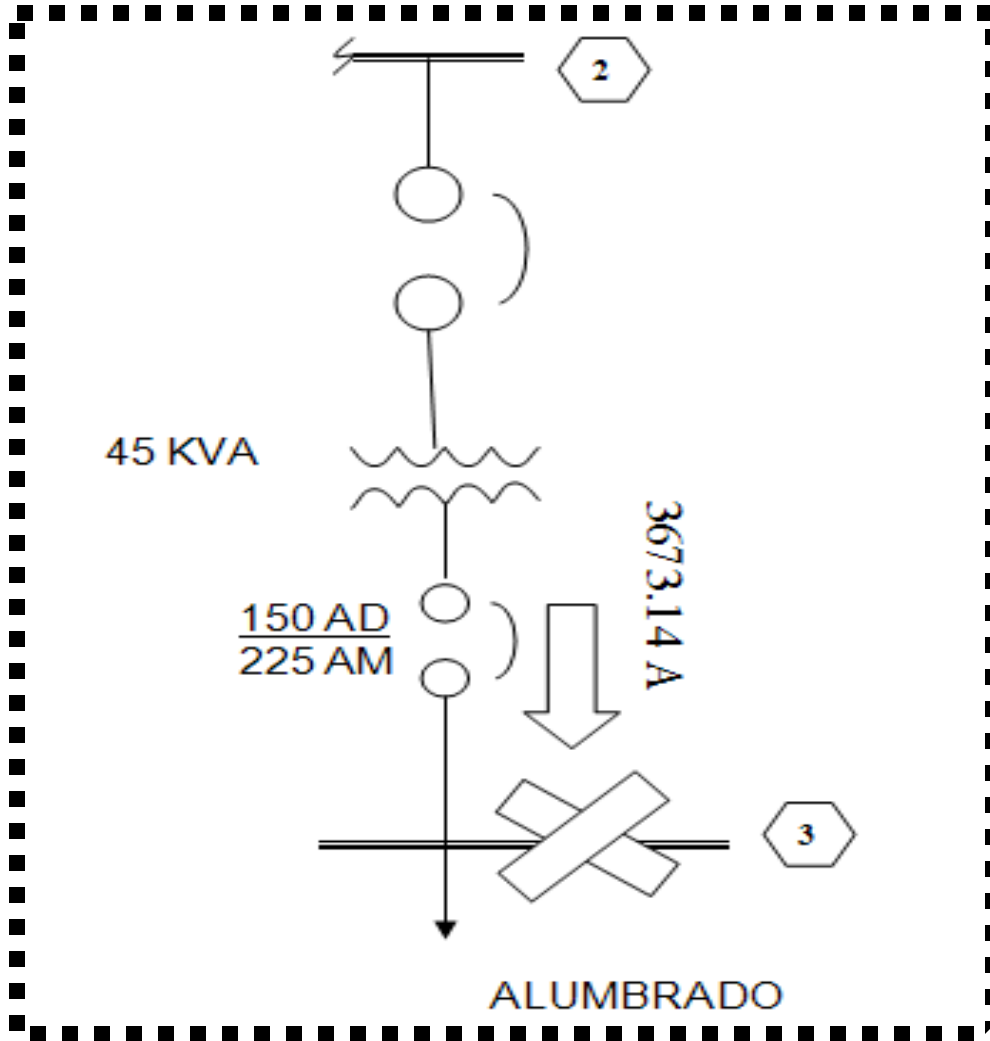




ING. GREGORIO JIMENEZ MEZA
ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS
CALCULO DE CORTOCIRCUITO
POR UNIDAD (PU).



FIGURA 4. CIRCULACION DE CORRIENTE DE FALLA POR INTERRUPTOR PRINCIPAL DE ALUMBRADO





CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR EL METODO DE LOS MVA's

Donde no sea necesario considerar la resistencia de los elementos que integran el sistema, un segundo método de cálculo, más sencillo, puede emplearse para calcular la potencia de cortocircuito simétrica en MVA's

Para este método, únicamente hay que recordar las siguientes relaciones:

1.- La impedancia del equipo deberá convertirse directamente a MVA de cortocircuito por la ecuación 1 si la reactancia del equipo está en % o por la ecuación 2 si la reactancia está en por unidad.

$$MVA_{cc3f} = \frac{MVA_{equipo} \times 100}{X \% \text{ del equipo}} \quad \dots\dots 1$$

$$MVA_{cc3f} = \frac{MVA_{equipo}}{X_{pu} \text{ del equipo}} \quad \dots\dots 2$$



CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR EL METODO DE LOS MVA`s

2.- La impedancia de líneas y alimentadores(cables) deberá convertirse directamente a MVA de cortocircuito por la ecuación 3 si la reactancia de la línea esta en ohms.

$$MVA_{cc} = \frac{KV^2}{X_{ohms}} \dots\dots 3$$

Donde KV = Kilovolts línea – línea del cable.

3.- Dibuje dentro de rectángulos o circuitos todos los MVA de cortocircuito de equipos y alimentadores siguiendo el mismo arreglo que estos tienen en el diagrama unifilar

4.- Sucesivamente combine los MVA de cortocircuito del sistema hasta encontrar un valor equivalente en el punto de falla:

a) Valores en paralelo se suman directamente.

b) Valores en serie se combinan como si fueran impedancias en paralel.



ING. OBED RENATO JIMENEZ MEZA

ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS

CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR EL METODO DE LOS MVA`s

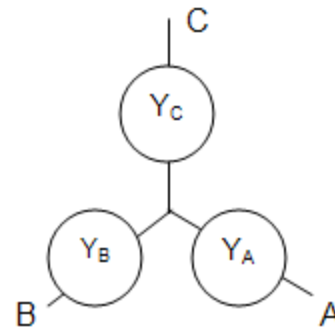
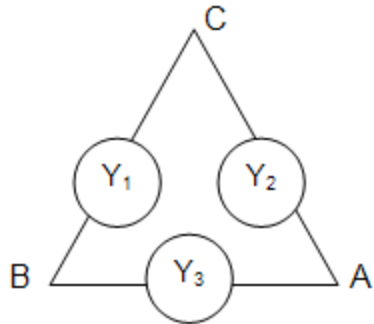


NOMOGRAMA PARA COMBINACIÓN DE ELEMENTOS SERIE



CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR EL METODO DE LOS MVA's

Formulas para transformaciones Delta-Estrella



$$Y_A = \frac{Y_1 Y_2 + Y_2 Y_3 + Y_3 Y_1}{Y_1} \quad Y_B = \frac{Y_1 Y_2 + Y_2 Y_3 + Y_3 Y_1}{Y_2} \quad Y_C = \frac{Y_1 Y_2 + Y_2 Y_3 + Y_3 Y_1}{Y_3}$$

$$Y = \frac{SC \text{ KVA}}{Z} \cdot 1$$



CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR EL METODO DE LOS MVA's

$$Y_1 = \frac{Y_B Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} = \frac{Y_B Y_C}{K} \quad Y_2 = \frac{Y_A Y_C}{K} \quad Y_3 = \frac{Y_A Y_B}{K}$$

5.- Con el valor encontrado en el punto anterior, calculamos la corriente de cortocircuito trifásico, en amperes, para el punto de falla.

$$I_{CC} = \frac{MVA_{CC} \times 1000}{\sqrt{3} \times KV}$$

Donde:

KV = Voltaje de línea-línea en kilovolts en el punto de falla.



CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR EL METODO DE LOS MVA's

METODO DE CALCULO

Se empleara el método de MVA`s , obteniendo una potencia equivalente de Cortocircuito en cada punto de falla.

PROCEDIMIENTO DE CALCULO

- 1.- Conversión de impedancias a MVA`s de cortocircuito
- 2.- Diagrama de MVA`s de cortocircuito.
- 3.- Reducción de la red en cada punto de falla y calculo de potencias y/o corrientes
de cortocircuito



CALCULO DE CORTOCIRCUITO
POR EL METODO DE LOS MVA's

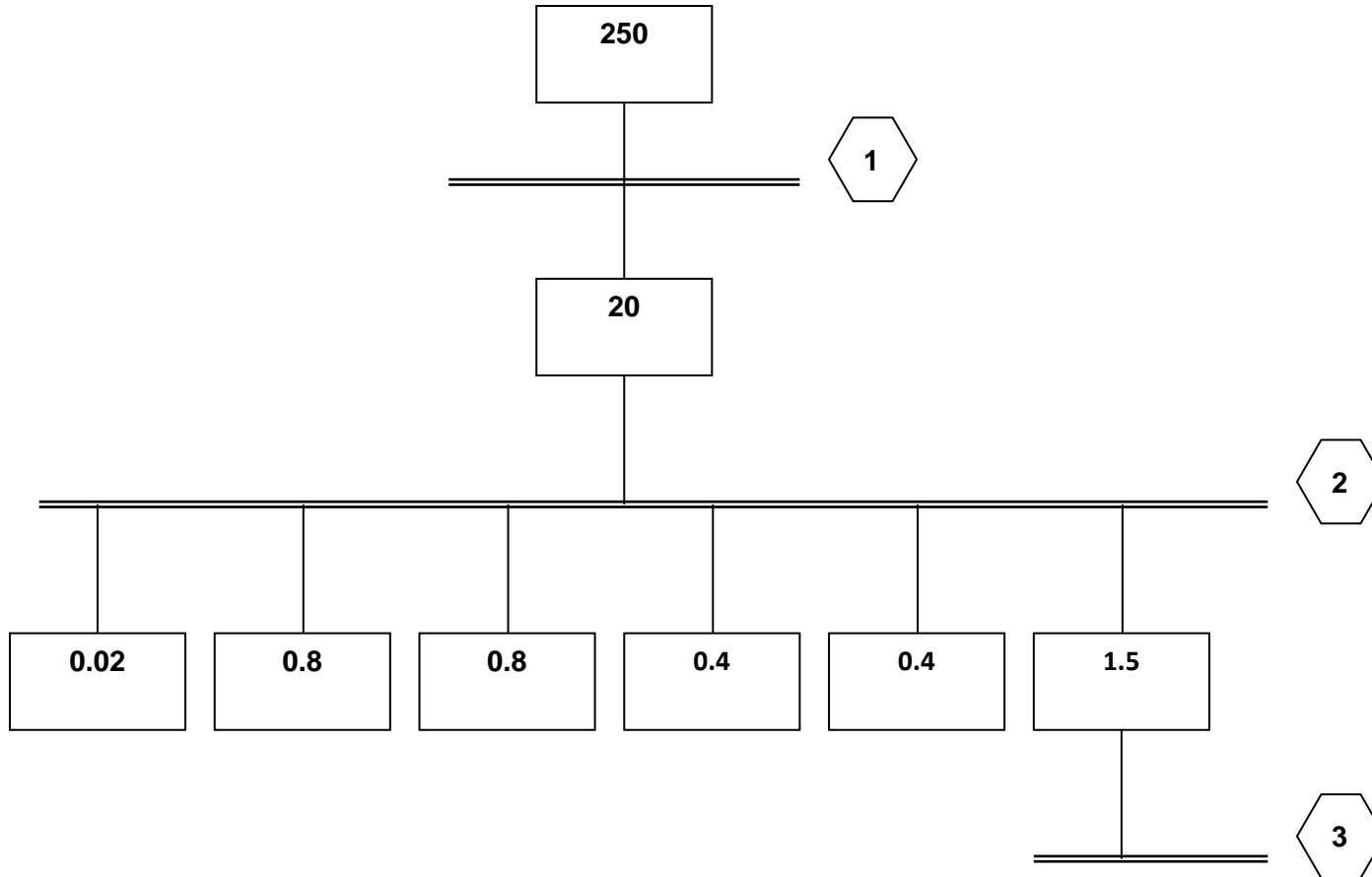
1.- CONVERSIÓN DE IMPEDANCIAS A MVA'S

FUENTE	MVA's
COMPAÑIA SUMINISTRADORA	$MVA_{cc} = 250 \text{ MVA}$
TRANSFORMADOR 1000 KVA (1 MVA):	$MVA_{cc} = 1.0/0.005 = 20$
MOTORES 200 HP (0.2 MVA):	$MVA_{cc} = 0.2/0.25 = 0.8$
MOTORES 100 HP (0.1 MVA):	$MVA_{cc} = 0.1/0.25 = 0.4$
MOTOR 5 HP (0.005 MVA):	$MVA_{cc} = 0.005/0.25 = 0.02$
TRANSFORMADOR 45 KVA (0.045 MVA):	$MVA_{cc} = 0.045/0.03 = 1.5$



CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR EL METODO DE LOS MAV's

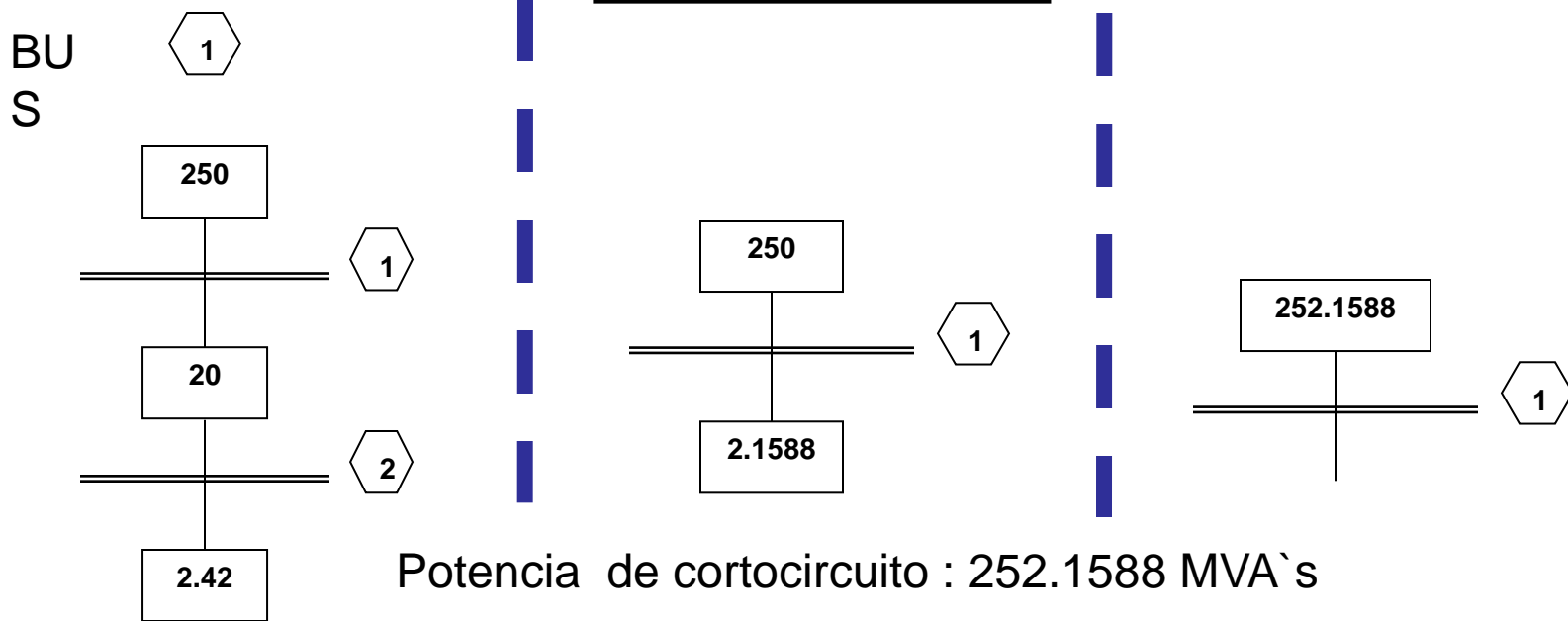
2.- DIAGRAMA DE MVA's





CALCULO DE CORTOCIRCUITO
POR EL METODO DE LOS MAV's

**3.- REDUCCION DE LA RED EN CADA PUNTO DE FALLA
Y CALCULO DE POTENCIAS Y/O CORRIENTES DE
CORTOCIRCUITO.**



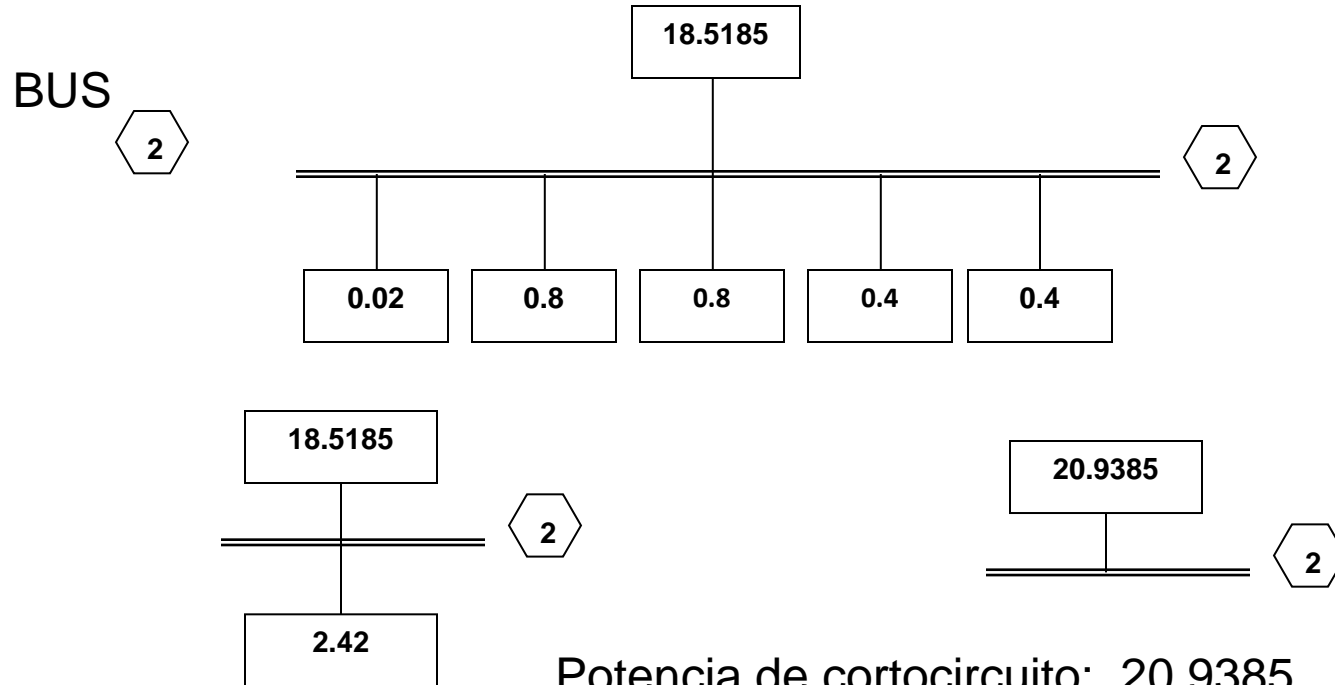
Potencia de cortocircuito : 252.1588 MVA's

Corriente de cortocircuito:

$$I_{cc} = \frac{252158.8}{\sqrt{3 \times 13.2}} = 11029.08 \text{ Amperes}$$



CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR EL METODO DE LOS MAV's



Potencia de cortocircuito: 20.9385
MVA`s

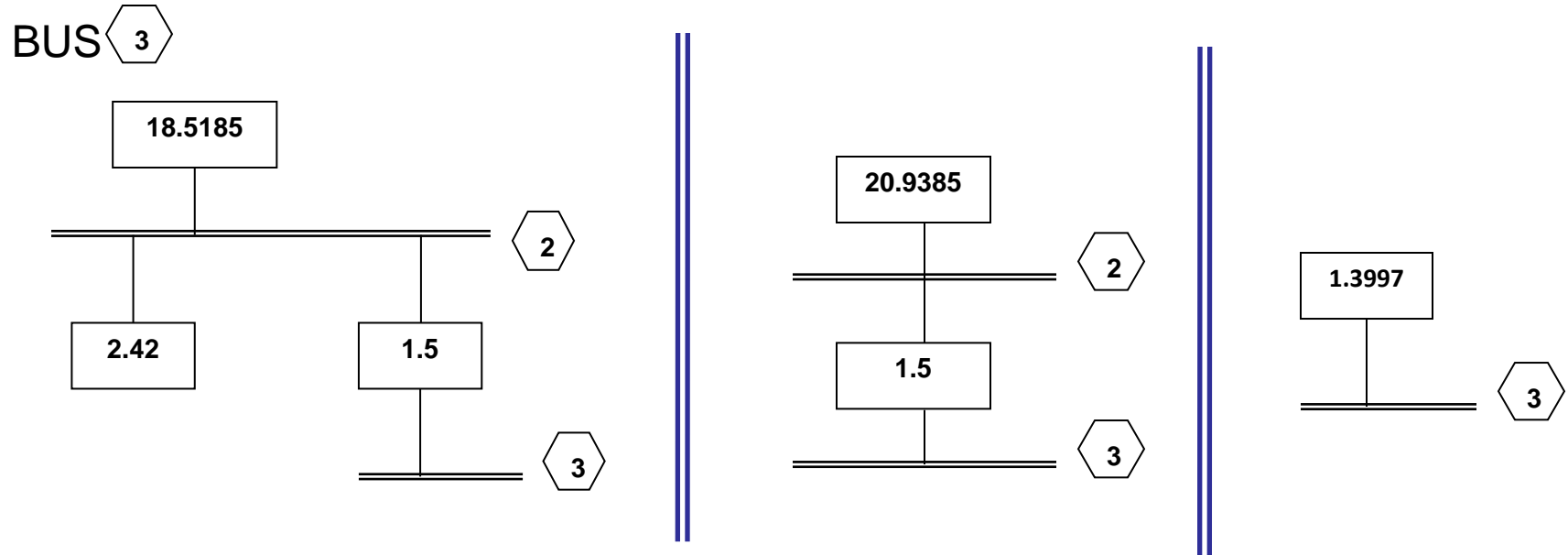
Corriente de cortocircuito:

$$I_{cc} = \frac{20938.5}{\sqrt{3 \times 0.44}} = 27474.6 \text{ Amperes}$$

$$\sqrt{3 \times 0.44}$$



CALCULO DE CORTOCIRCUITO POR EL METODO DE LOS MAV's



Potencia de cortocircuito: 1.3997 MVA

Corriente de cortocircuito :

$$I_{cc} = \frac{1399.7}{\sqrt{3 \times 0.22}} = 3673.25 \text{ Amperes}$$