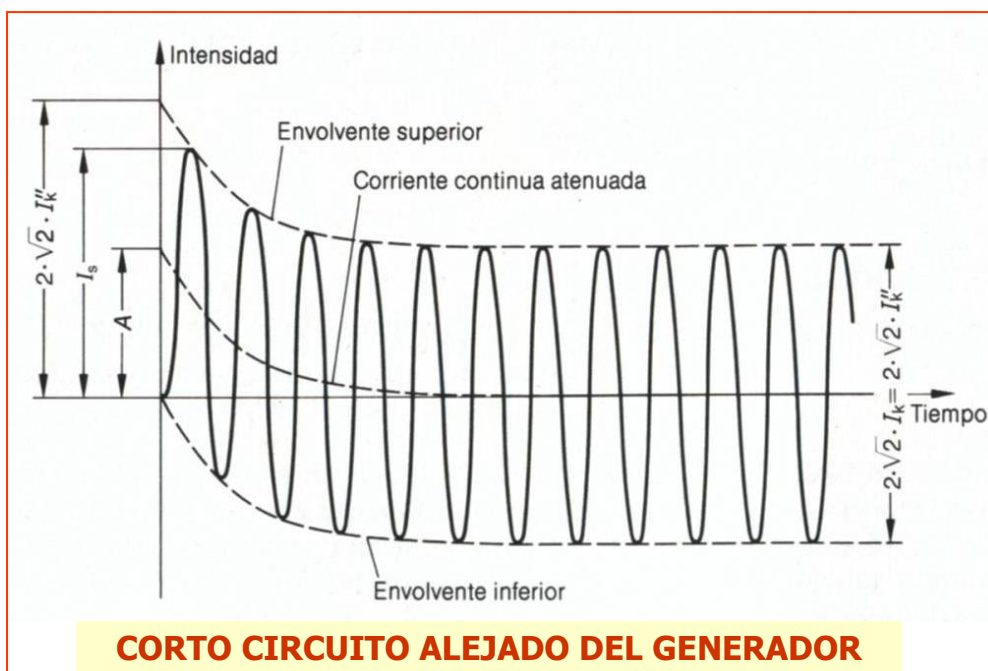


CORTO CIRCUITO SIMÉTRICO TRIFÁSICO

Corriente de corto circuito.- Es la corriente que fluye por el punto defectuoso mientras dura el corto circuito. En un principio transcurre generalmente en forma asimétrica con respecto del eje. Contiene una componente de corriente alterna y otra componente de corriente continua la cual se atenúa hasta anularse.-

Corriente alterna .- Es la componente de la corriente de cortocircuito a la frecuencia de servicio.



Corriente Inicial de corto circuito (I''). Es el valor RMS de la corriente de cortocircuito en el momento que este se produce. Su impedancia queda definida por las reactancias directas sub transitorias de las máquinas síncronas más la pequeña red que une al generador y las barras donde se produce la falla, si fuese este el caso, si no existe línea y el corto es en bornes X_d'' línea se desprecia.

$$X''_d = X''_d_G + \underbrace{X''_{LINEA}}_{\text{PEQUEÑO}}$$

Impulso de la corriente de corto circuito (I). Es el máximo valor instantáneo de la intensidad de la corriente después de producirse el corto circuito, se ubica como un valor de pico.

Corriente permanente de corto circuito (I_k). Es el valor eficaz de la intensidad de la corriente alterna de cortocircuito que permanece constante. Esta depende de la excitación de los generadores. Para este caso, según VDE 530 parte 1; la corriente permanente de cortocircuito debe de cumplir:

- El corto circuito debe hacerse en bornes del generador.
- La corriente de excitación debe ser la $I_{fnominal}$.

Corriente alterna de ruptura (I_a). Se produce al desconectar el interruptor cuando existe el corto circuito. Es el valor eficaz de la corriente alterna que fluye a través de dicho interruptor en el momento de la primera apertura de contactos.

CONCEPTOS BÁSICOS EN LA PROTECCIÓN

- Confiabilidad
- Estabilidad
- Sensibilidad
- Selectividad
- Simplicidad
- Escalonamiento
- Rapidez

NORMAS INTERNACIONALES EN EL CALCULO DE CORTOCIRCUITO

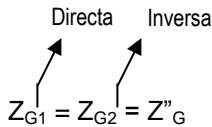
Normas Utilizadas

VDE 0102, parte 1	Vn > 1 Kv
VDE 0102, parte 2	Vn < 1Kv
IEC 947, parte 2	V < 1Kv (Selección de interruptores)

En Generadores

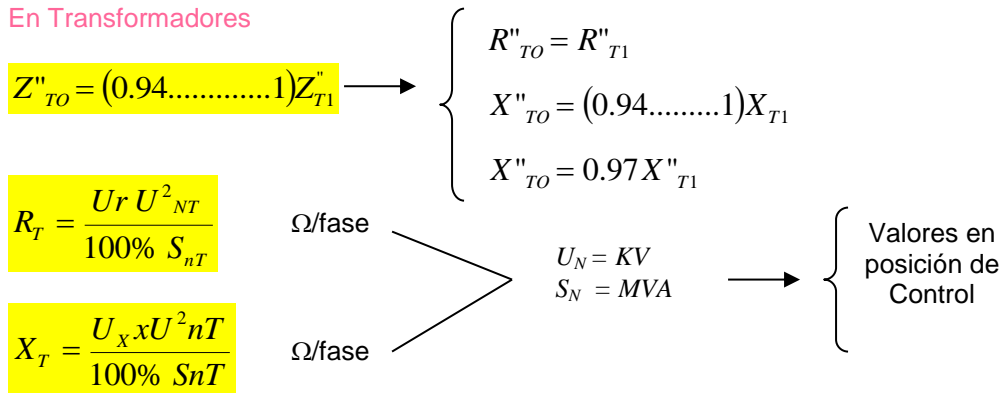
$R_G = 0.05 X_d''$ para $S_G > 100MVA$

$R_G = 0.07 X_d''$ para $S_G < 100MVA$



$\frac{Z_{G0}}{Z_{G1}} \cong 3$ y se diseña a $1/3 S_{GN}$

En Transformadores



U_r = caída relativa de tensión ohmica en %
 U_x = caída relativa de tensión reductiva en %
 U_z = caída relativa de tensión en cortocircuito %

$U_x = \sqrt{U_z^2 - U_r^2}$

$Z_T = Z_{T1} = Z_{T2}$

Para transformadores Δ_{yn} aterrado se ha medido (Impedancia homopolar)

$$R_{TO} \approx R_T$$

$$X_{TO} \approx (0.85 \dots 1) X_T$$

Para transformadores de pequeñas potencias

$$X_{TO} = 8.925 X_T$$

$$R_{TO} \approx R_T$$

$$X_{TO} \approx (0.85 \dots 1) X_T$$

Para transformadores de grandes potencias

$$X_{TO} \approx 0.925 X_T$$

Para transformadores Ydn se ha medido

$$R_{TO} \approx R_T$$

$$X_{TO} \approx (0.7 \dots 0.9) X_T$$

$$X_{TO} \approx 0.8 X_T$$

Los transformadores YYn no tienen una impedancia homopolar definida, cuando no se conocen se diseña para que se cumpla

$$\frac{Z_0}{Z_1} = (1.8 \text{ a } 3) \text{ teniendo en cuenta que son diseñados a } 1/3 \text{ de } S_N \text{ Transformador.}$$

PROBLEMA TIPO.- SELECCIÓN DE LOS INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS

ANÁLISIS Y CALCULO DE LA FALLA F1

$$X''_G = (X_G / 100)(Vn^2 / Sn) = 12.675 \times 10^2 / 100 \times 25 = 0.507 \Omega$$

$$R_G = 0.07 \times 0.507 = 0.0355 \Omega$$

$$R_G = 0.05 Xd'' \text{ cuando } S_G > 100 \text{ MVA}$$

$$R_G = 0.07 Xd'' \text{ cuando } S_G < 100 \text{ MVA}$$

(VDE 0102 parte 2 del 13 a 15)

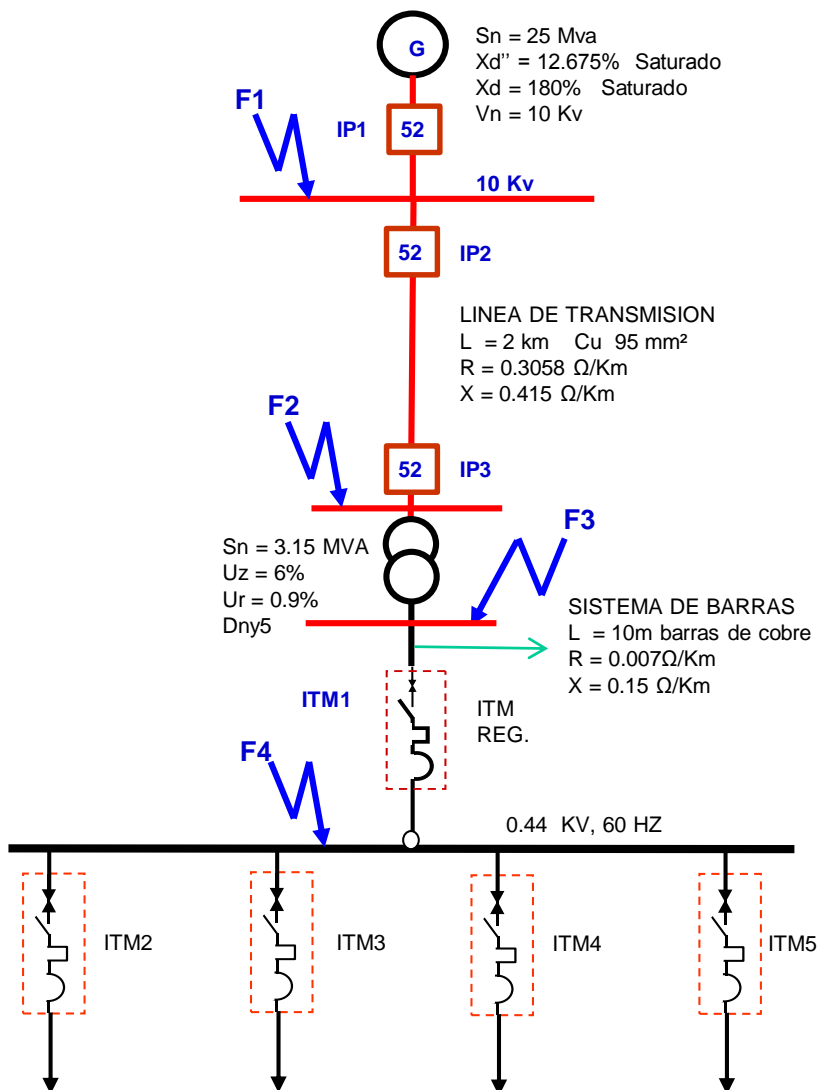
$$Z_G = R_G + j X''_G = 0.0355 + j0.507$$

$$Z_G = 0.508 \Omega$$

Sub transitoria

$$I_{GN} = \frac{25 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 10.0 \text{ Kv}} = 1.443 \text{ KA}$$

En el circuito siguiente calcular las corrientes y potencias de corto circuito en los puntos de falla.



Intensidad inicial de corto circuito ($I''^{3\phi}$)

$$I''_{\max 3\phi} = \frac{C x V_N}{\sqrt{3} Z_G} = \frac{1.1 \times 10 \text{ Kv}}{\sqrt{3} \times 0.508} = 12.52 \text{ KA}$$

Impulso de corriente de corto circuito (I_s)

$$I_s \max 3\phi = x \sqrt{2} I''^{3\phi} = 1.8 \sqrt{2} \times 12.52 = 31.87 \text{ KA}$$

Ingresamos con $R_G / Xd'' = 0.07$ (curvas HM01) $\rightarrow x = 1.8$

Intensidad de ruptura en corriente alterna (I_a)

$$I_a \max 3\phi = \mu I'' = 0.645 \times 12.52 = 8.075 \text{ KA}$$

μ cuando el tiempo mínimo de desconexión es de 0.1 seg (curvas HM02)

Ingresamos con $\frac{I''_{3\phi}}{I_{GN}} = \frac{12.52}{1.443} = 8.7 \rightarrow \mu = 0.645$ en las curvas HMO2 y retardo mínimo de desconexión $t = 0.1$ seg.

Intensidad permanente de corto circuito (I_k)

$$I_k \max 3\phi = \lambda I_{GN} = 1.9 \times 1.443 = 2.74 \text{ KA}$$

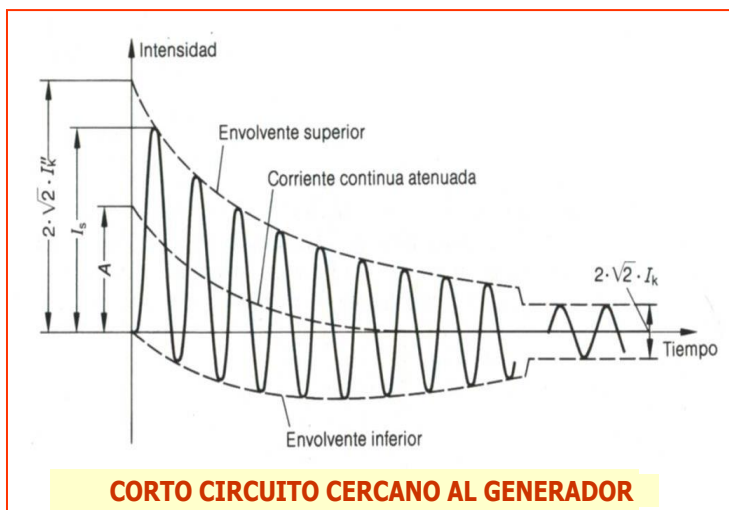
Ingresamos con $\frac{I''_{3\phi}}{I_{GN}} = 8.7$ (curvas HMO3) y cruzo con X_d saturado = 1.8 pu y encontramos $\lambda = 1.9$.

POTENCIA INICIAL DE CORTO CIRCUITO

$$S''_{3\phi} = \sqrt{3}xV_N \cdot I'' \max 3\phi = \sqrt{3}x10Kv \times 12.52KA = 216.6 \text{ MVA}$$

CAPACIDAD DE RUPTURA DE LA RED

$$S_{a3\phi} = \sqrt{3}xV_N \cdot I'' a \max 3\phi = \sqrt{3}x10Kv \times 8.075KA = 139.7 \text{ MVA}$$



TAREA .- Dibujar la envolvente de la forma de onda de la corriente de cortocircuito cercano y lejano al generador.

CORRIENTES MÍNIMAS DE CORTOCIRCUITO TRIPOLAR

Para determinar : $I''_{3\phi}$, $I_{s3\phi}$ e $I_{a3\phi}$ mínimos > 1KV no se estipulan en las normas

En este caso apoyarse en el estado de carga más débil (funcionando prácticamente en vacío).

Es decir la tensión efectiva en caso de defecto CV_N es igual a la tensión interna del generador esto es:

$$CV_n = E_{GN} = V_n + I_{GN} x Z_G = 10Kv + 1443x0.508 = 10.733 \text{ Kv}$$

$$I'' \min 3\phi = I'' \max 3\phi \cdot x \frac{E_{GN}}{CVn} = 12.52 \times \frac{10.733}{1.1 \times 10 K_V} = 12.22 KA$$

$$I_s \min 3\phi = I_s \max 3\phi \cdot x \frac{E_{GN}}{C \cdot Vn} = 31.67 \times \frac{10.733}{1.1 \times 10 K_V} = 31.1 KA$$

$$I_a \min 3\phi = u I'' \min 3\phi \min = 0.655 \times 12.22 = 8 KA$$

$$u = 0.655 ,$$

$$\text{con curvas HMO2} \left\{ \begin{array}{l} I_{GN} = 1.443 KA \\ I'' \min 3\phi = 12.22 KA \end{array} \right. \Rightarrow \frac{12.22}{1.443} = 8.47$$

$T_m = 0.15$ (retardo mínimo de desconexión)

$$I_k \min 3\phi = \lambda \min I_{NG} = 0.5 \times 1.443 = 0.721 KA$$

$$\lambda \min = 0.5 \left\{ \begin{array}{l} \lambda \text{ mínimo curvas} \\ \frac{I'' \min 3\phi}{I_{GN}} = 8.47 \end{array} \right.$$

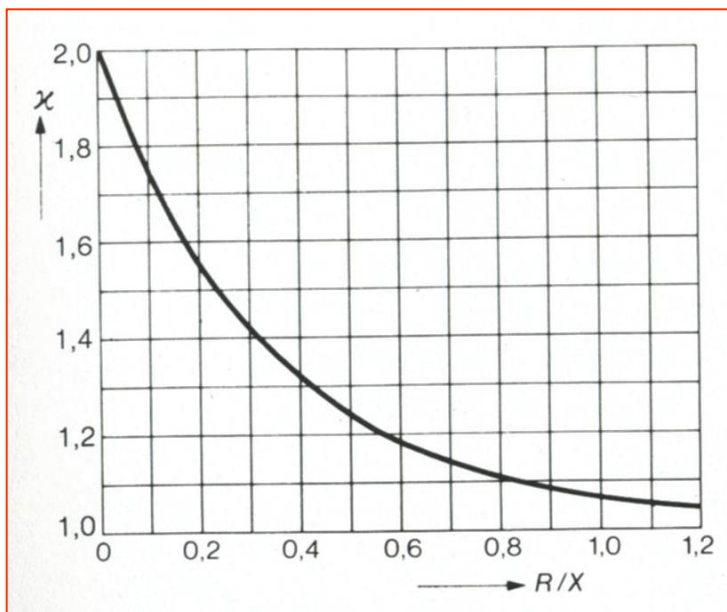
CUADRO RESUMEN			$S = \sqrt{3} V x I$	
	Corriente de Corto circuito		Potencia de Corto circuito	
	Max. KA	Min. KA	Max. MVA	Min. MVA
$I'' 3\phi$	12.52	12.22	216.6	211
$I_s 3\phi$	31.87	31.1	552	538
$I_a 3\phi$	8.075	8.0	139.8	138.6
$I_k 3\phi$	2.74	0.721	47.5	12.55

SELECCIÓN DEL INTERRUPTOR AUTOMATICO IT1

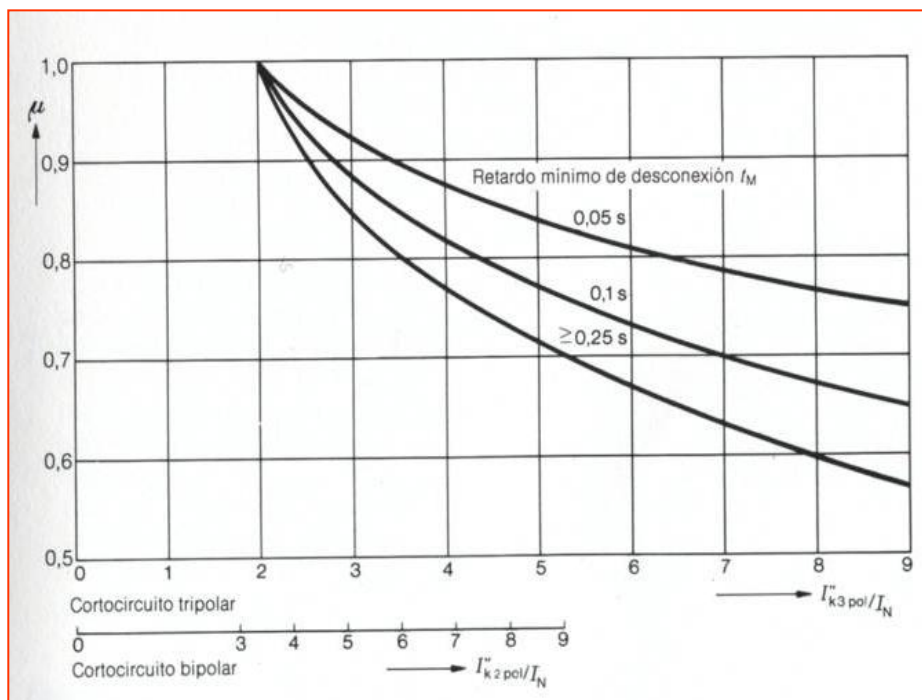
El dispositivo de protección, INTERRUPTOR AUTOMATICO, deberá cumplir con los siguientes parámetros

- **Idiseño** = $1.2 \times I_n = 1732$ Amperios **Interruptor Automático de 1800 Amperios**
- **Regulación Térmica** = $1443 / 1800 = 0.8$ **(0.5 - 1) In**
- **Regulación Magnética** = $12520 / 1800 = 6.95$ **(2 - 10) In**
- **Poder de corte** > **40 KA.** (Is)
- **Potencia inicial de CC** > **220 MVA.** ($I'' 3\phi$)
- **Capacidad de ruptura** > **140 MVA.** (Ia)

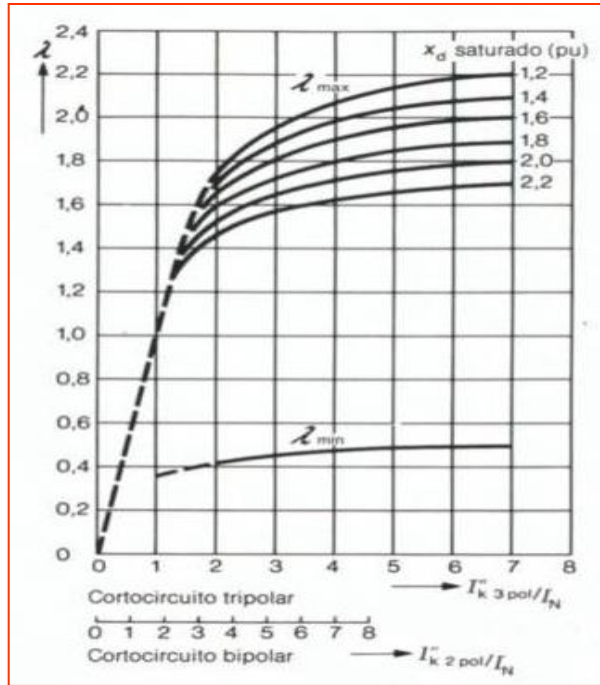
- Capacidad de impulso > 1600 MVA. (Ia)



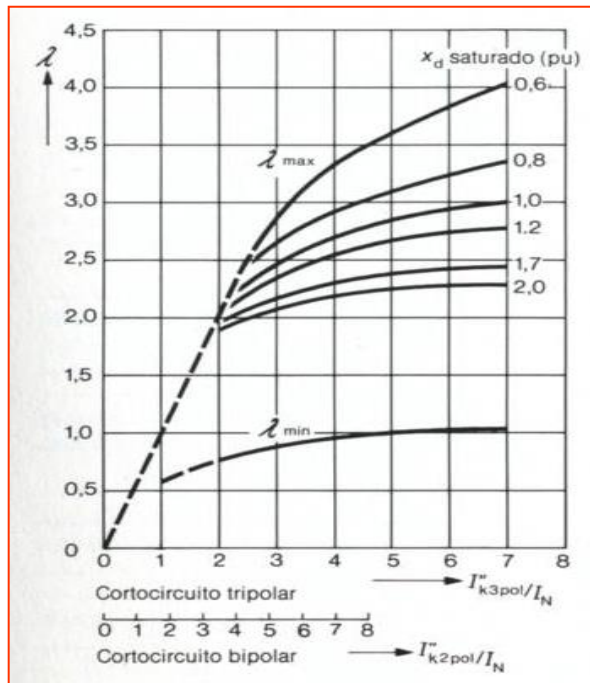
HMO1.- MAGNITUDES DE CALCULO DE X PARA EL CALCULO DEL IMPULSO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO (Is).



HMO2.- MAGNITUDES DE CALCULO DE U PARA EL CALCULO DE LA CORRIENTE DE RUPTURA (Ia).

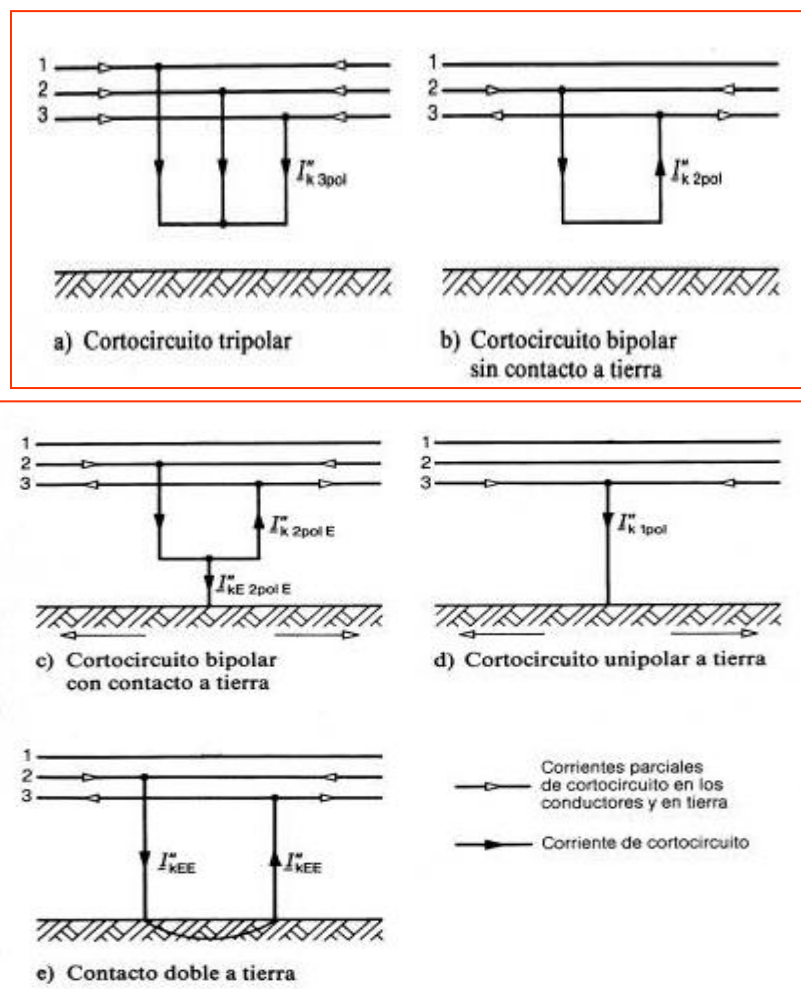


HMO3.- FACTORES λ_{max} y λ_{min} . PARA TURBOALTERNADORES (POLOS LISOS) UTILIZADO EN EL CALCULO DE LA CORRIENTE PERMANENTE DE CORTO CIRCUITO (I_k).



HMO4.- FACTORES λ_{max} y λ_{min} . PARA ALTERNADORES DE POLOS SALIENTES UTILIZADO EN EL CALCULO DE LA CORRIENTE PERMANENTE DE CORTO CIRCUITO (I_k).

CORTO CIRCUITO DIVERSOS NORMA VDE 0102



APLICACIÓN DE LA NORMA VDE 102 – 1 – 2

En el circuito siguiente calcular las corrientes y potencias de corto circuito en los puntos de falla en F1 (ya desarrollados), F2, F3 y F4 correspondientes a la figura de la página N° 4.

ANÁLISIS Y CÁLCULO DE LA FALLA F2

Cálculo de la impedancia subtransitoria.-

$$Z_G = R_G + j X_d'' = 0.0355 + j 0.507 \quad \text{Impedancia sub transitoria}$$

$$\text{Línea de Tx. de 2 Km.} \quad Z_L = R_L + j X_L = 0.6116 + j 0.83 \Omega$$

$$Z_{\text{total}} = Z_G + Z_L = 0.6471 + j 1.337 \Omega$$

$$Z_{\text{total}} = 1.4853 \Omega, \quad R_{\text{total}} / X_{\text{total}} = 0.4839$$

Con la constante C = 1 Para cortocircuitos alejados al generador.

Seguir la misma secuencia propuesta en los cálculos del interruptor automático en la falla F1.

Tabla N° 9.2.- Resultado de los cálculos realizados en la falla F2		
	Corriente de Cortocircuito	Potencia de Corto circuito
	KA	MVA
$I''3\phi$	3.89	67.38
$I_s3\phi$	6.93	120.55
$I_a3\phi$	3.46	59.93
$I_k3\phi$	2.38	41.2

SELECCIÓN DEL INTERRUPTOR AUTOMATICO IT3

El dispositivo de protección, interruptor automático, deberá cumplir con los siguientes parámetros:

- Idiseño = $1.2 \times I_n = 1732$ Amperios
- Seleccionamos del Catálogo Fabricante un IA de 1800 Amperios
 - o Regulación Térmica = $1443 / 1800 = 0.8$ (0.5 - 1) I_n
 - o Regulación Magnética = $3890 / 1800 = 2.16$ (2 - 10) I_n
- Poder de corte ≥ 10 KA.
- Potencia inicial de CC > 70 MVA.
- Capacidad de impulso > 130 MVA.
- Capacidad de ruptura > 60 MVA.
- Capacidad permanente > 50 MVA.

ANÁLISIS Y CÁLCULO DE LA FALLA F3

Cálculo de la impedancia subtransitoria.- En este caso se recomienda reflejar todas las impedancias al lado de baja tensión de 440 Voltios.

$$Z_G = R_G + j X_d'' = (0.687 + j 9.816) E - 4 \Omega$$

$$Z_L = R_L + j X_L = (11.87 + j 16.06) E - 4 \Omega$$

$$Z_{trafo} = R_{trafo} + j X_{trafo} = (5.53 + j 36.38) E - 4 \Omega$$

$$Z_{total} = R_{total} + j X_{total} = (18.057 + j 62.256) E - 4 \Omega$$

$$Z_{total} = (64.88218) E - 4 \Omega, \quad R_{total} / X_{total} = 0.29$$

$$I_{GN} = (25 \text{ MVA} / \sqrt{3} \cdot 10 \text{ KV}) (0.44/10)^2 = 32.8 \text{ KA.}$$

Tabla N° 9.3.- Resultado de los cálculos realizados en la falla F3		
	Corriente de Cortocircuito	Potencia de Corto circuito
	KA	MVA
$I''3\phi$	39.19	29.83
$I_s3\phi$	78.7	59.9
$I_a3\phi$	39.19	29.83
$I_k3\phi$	39.35	29.99

Con la constante C = 1 Para cortocircuitos alejados al generador.

Como se puede notar se ha reflejado todos los parámetros a la barra de 0.44 KV y por tanto la corriente nominal del generador tiene que ser reflejado al lado de baja tensión.

SELECCIÓN DEL INTERRUPTOR AUTOMÁTICO IT4

El dispositivo de protección, INTERRUPTOR AUTOMÁTICO, deberá cumplir con los siguientes parámetros:

$I_{trafo} = 3.15 \text{ MVA} / \sqrt{3} \cdot 0.44 \text{ KV} = 4133 \text{ A.}$

- Idiseño = $1.2 \times 4133 = 4959$ Amperios
- Seleccionamos del Catálogo Fabricante un IA de 5000 Amperios
 - o Regulación Térmica = $4133 / 5000 = 0.826$ (0.5 - 1) In
 - o Regulación Magnética = $39190 / 5000 = 7.8$ (1.5 - 10) In
- Poder de corte $\geq 80 \text{ KA.}$
- Potencia inicial de CC $> 30 \text{ MVA.}$
- Capacidad de impulso $> 60 \text{ MVA.}$
- Capacidad de ruptura $> 30 \text{ MVA.}$
- Capacidad permanente $> 30 \text{ MVA.}$

ANÁLISIS Y CÁLCULO DE LA FALLA F4

Cálculo de la impedancia subtransitoria.- En este caso se recomienda reflejar todas las impedancias al lado de baja tensión de 440 Voltios.

$Z_G = R_G + j X_d'' = (0.687 + j 9.816) E - 4 \ \Omega$

$Z_L = R_L + j X_L = (11.87 + j 16.06) E - 4 \ \Omega$

$Z_{trafo} = R_{trafo} + j X_{trafo} = (5.53 + j 36.38) E - 4 \ \Omega$

$Z_{barra} = R_{barra} + j X_{barra} = (0.7 + j 15) E - 4 \ \Omega$

$Z_{total} = R_{total} + j X_{total} = (18.757 + j 77.256) E - 4 \ \Omega$

$Z_{total} = (79.55) E - 4 \ \Omega \quad R_{total} / X_{total} = 0.243$

$IGN = (25 \text{ MVA} / \sqrt{3} \cdot 10 \text{ KV}) (0.44/10)^2 = 32.8 \text{ KA.}$

Con la constante C = 1 Para cortocircuitos alejados al generador. Continuamos en baja tensión.

Tabla N° 9.4.- Resultado de los cálculos realizados en la falla F4		
	Corriente de Cortocircuito	Potencia de Corto circuito
	KA	MVA
$I''_{3\phi}$	31.93	24.33
$I_s_{3\phi}$	67.74	51.62
$I_a_{3\phi}$	31.93	24.33
$I_k_{3\phi}$	31.93	24.33

SELECCIÓN DEL INTERRUPTOR AUTOMÁTICO IT5

El dispositivo de protección, INTERRUPTOR AUTOMÁTICO, deberá cumplir con los siguientes parámetros:

$$I_{trato} = 3.15 \text{ MVA} / \sqrt{3} \cdot 0.44 \text{ KV} = 4133 \text{ KA.}$$

- Idiseño = $1.2 \times 4133 = 4959$ Amperios
- Seleccionamos del Catálogo Fabricante un IA de 5000 Amperios
 - o Regulación Térmica = $4133 / 5000 = 0.826$ (0.5 - 1) In
 - o Regulación Magnética = $31930 / 5000 = 6.4$ (1.5 - 10) In
- Poder de corte ≥ 70 KA.
- Potencia inicial de CC > 30 MVA.
- Capacidad de impulso > 60 MVA.
- Capacidad de ruptura > 30 MVA.
- Capacidad permanente > 30 MVA.