

SPT en Alta Tensión.

DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS MEDIA Y
ALTA TENSIÓN - EAI6112

DuocUC



ESCUELA DE INGENIERÍA Y
RECURSOS NATURALES



¿Qué aprenderemos?

Objetivo

Calcular parámetros de mallas de puesta a tierra de acuerdo a los requerimientos del proyecto de media y alta tensión.

.

Requisitos Mínimos de una Puesta a Tierra en Alta

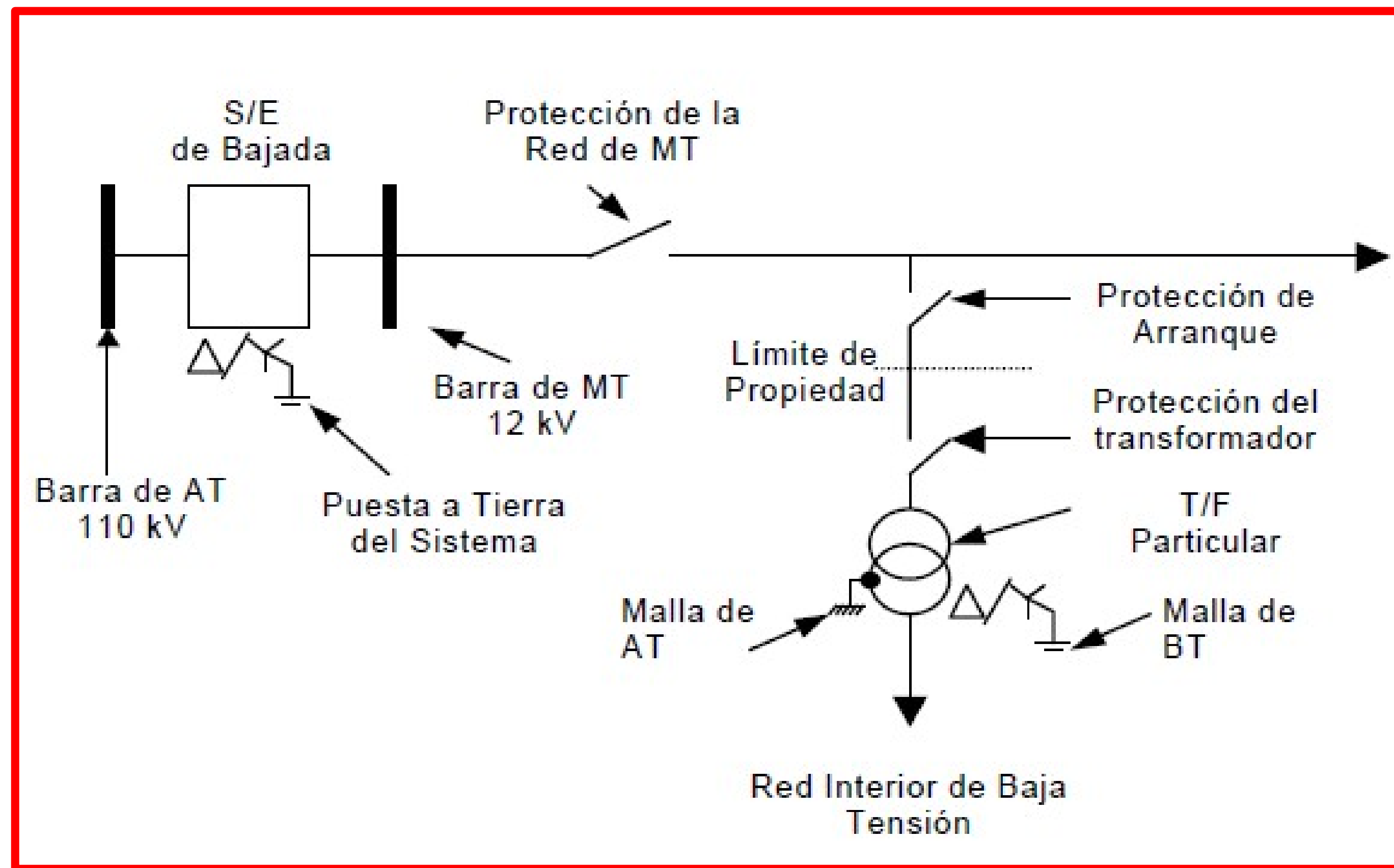
Debe conducir a Tierra las corrientes de falla sin provocar gradientes de potencial peligrosos sobre la superficie del terreno.

Debe conducir a tierra las corrientes de falla durante el mayor tiempo posible.

Debe tener una impedancia de onda de un valor bajo.

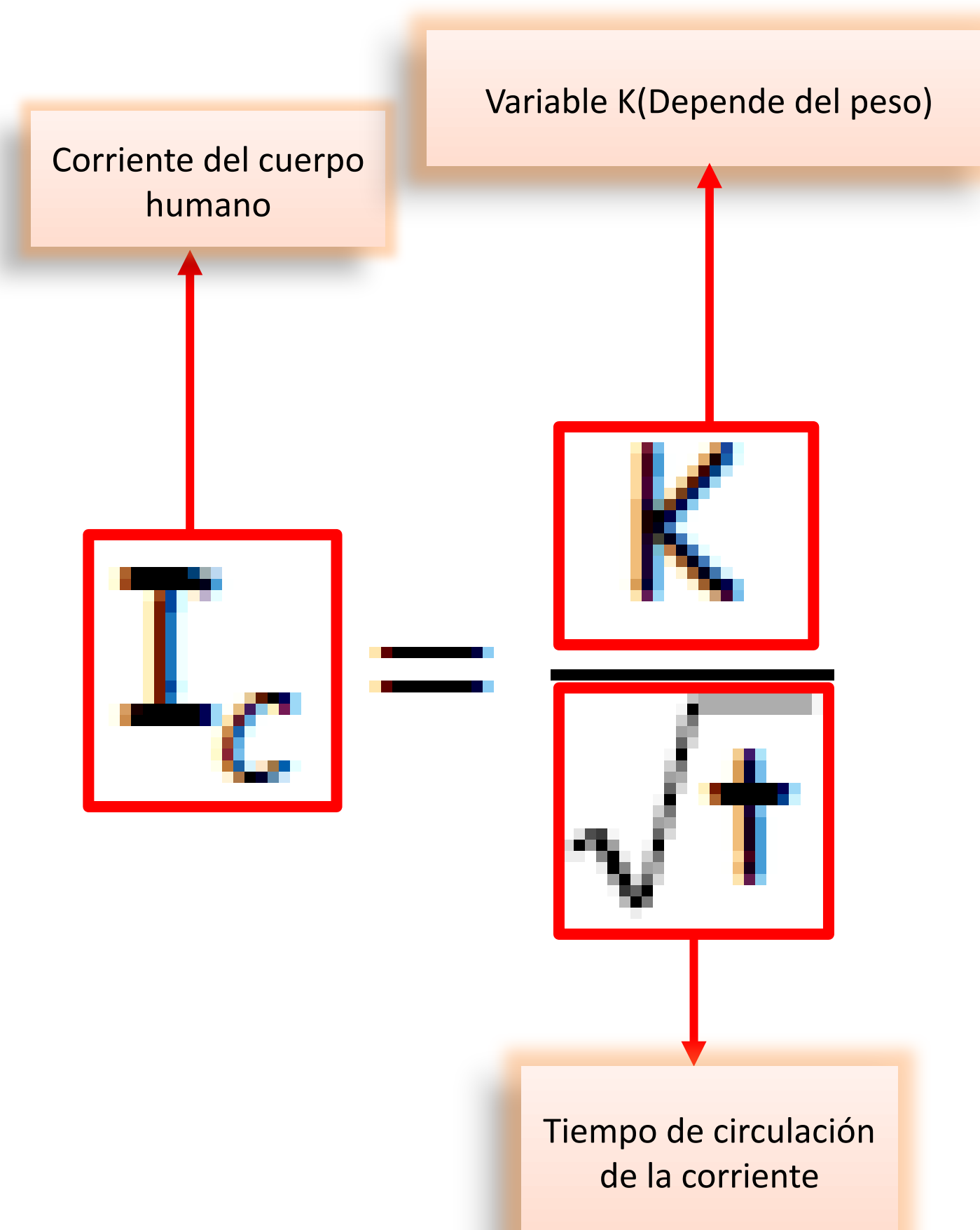
Debe ser resistente al ataque corrosivo.

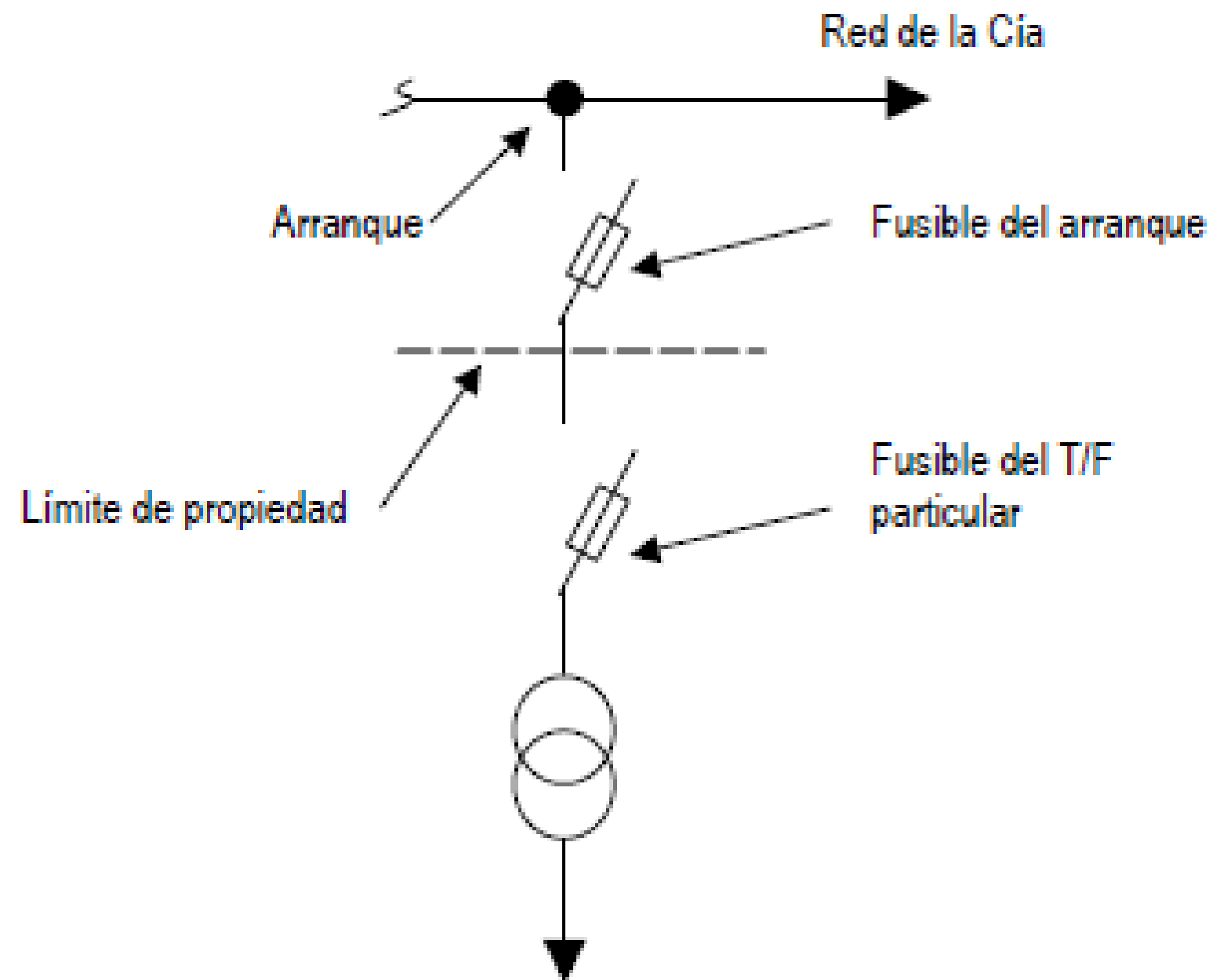
Debe ayudar a la coordinación a las protecciones.



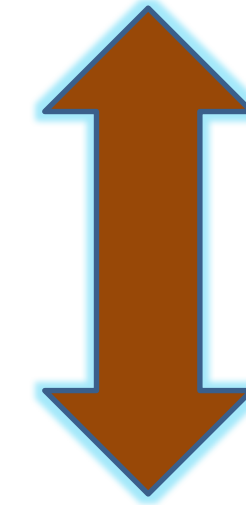
SPT en Alta Tensión

Expresión Charles Danziel



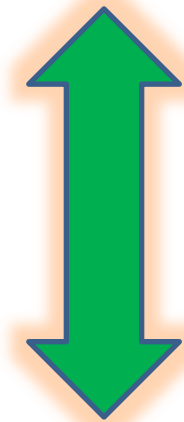


$$F_A \approx \frac{1,5 \times S_T}{\sqrt{3} \times V_{LAT}}$$



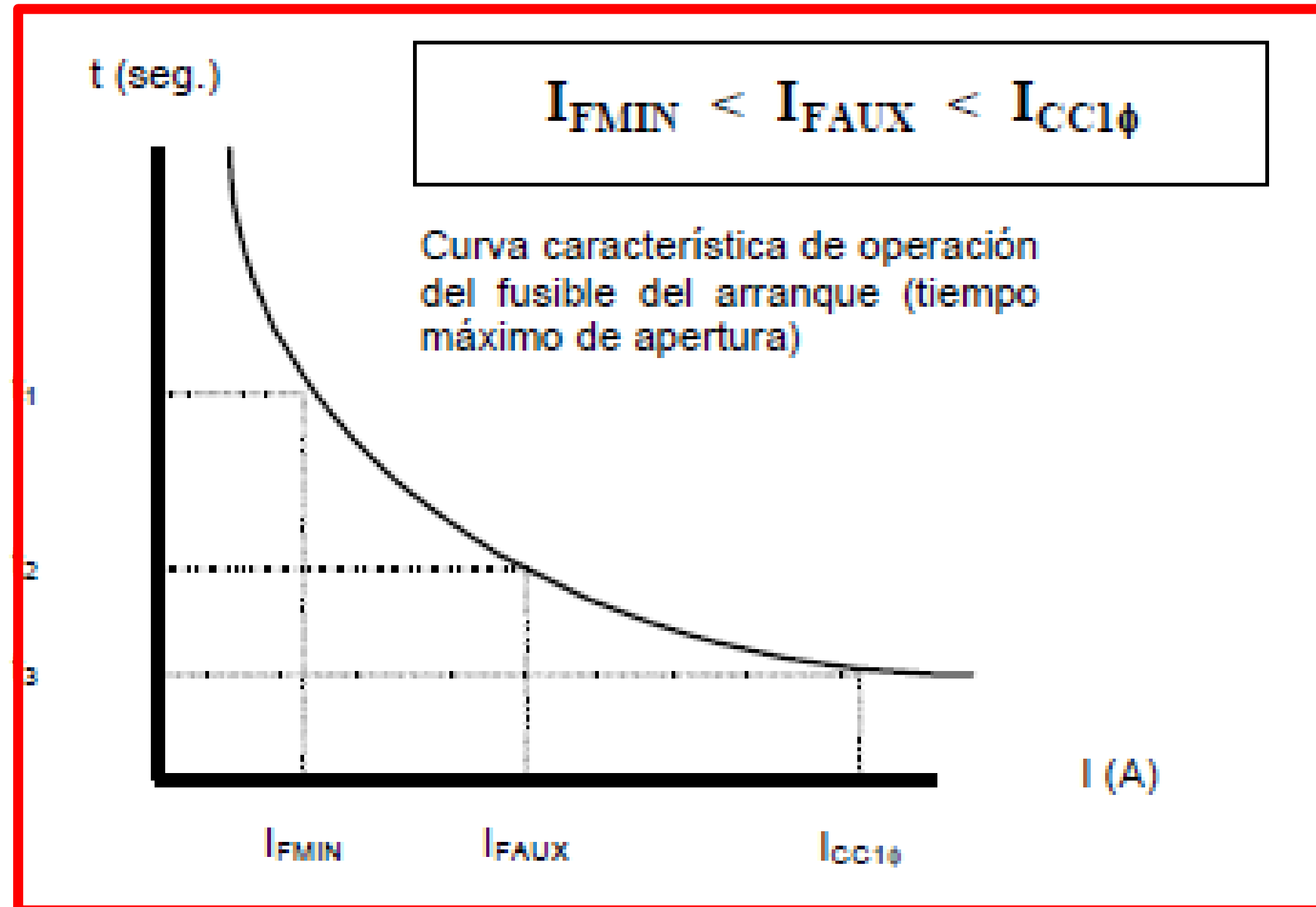
F_A : Capacidad nominal del fusible de arranque (A).
 S_T : Potencia del transformador (KVA).
 V_{LAT} : Tensión de alimentación por el lado de alta (KV).

$$R_{\max} = \frac{1}{3} \times \sqrt{\frac{3 \times V_{\text{LAT}}^2}{I_{\text{FAUX}}^2} - [X_0 + X_1 + X_2]^2}$$



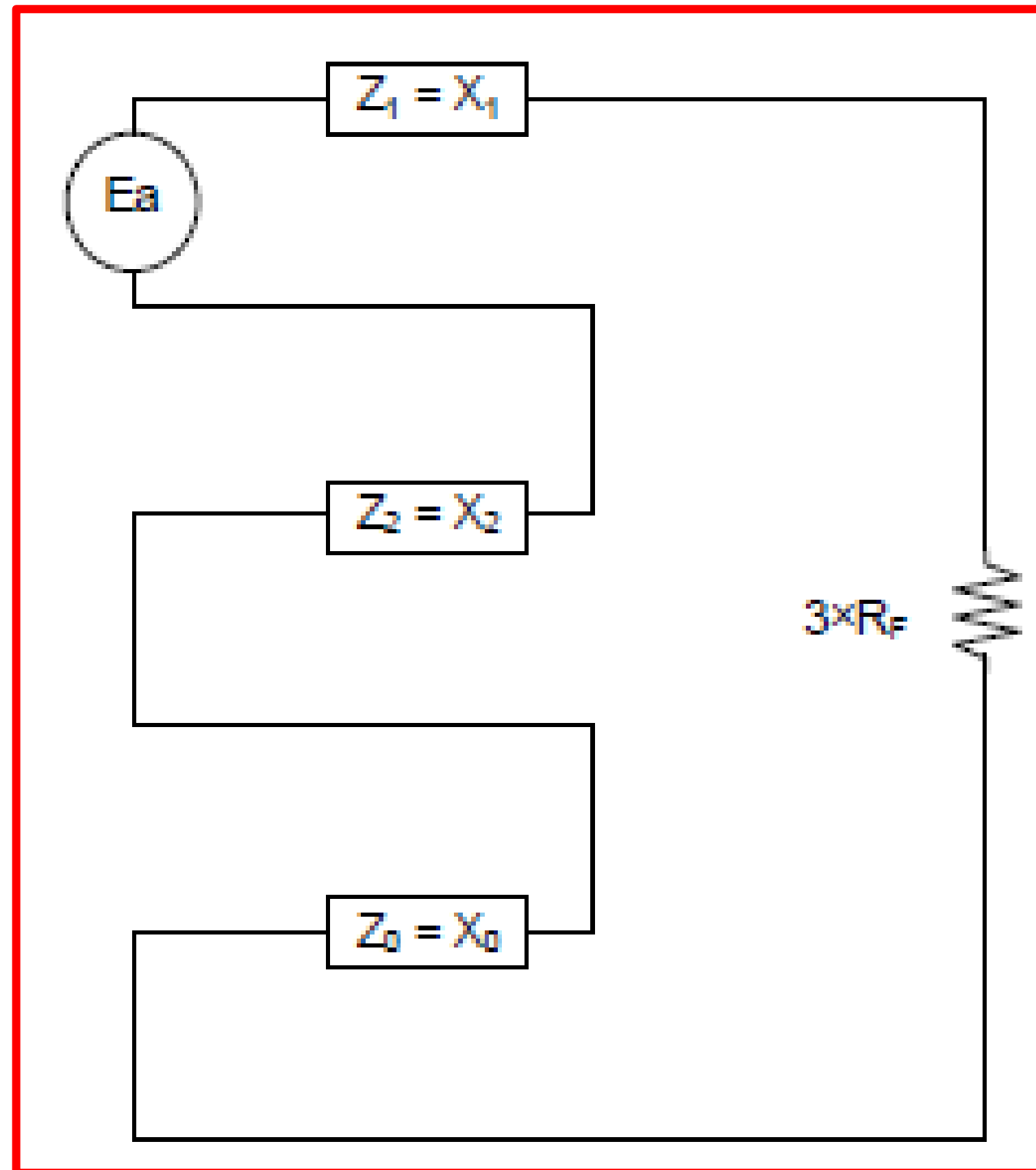
V_{LAT} : Tensión de línea del sistema por el lado de AT (V).
 I_{FAUX} : Corriente de falla auxiliar (A).
 X_{N° : Parámetros del sistema (Ω).

SPT en Alta Tensión



I_{FMIN} : Corriente de falla mínima (A).
 I_{FAUX} : Corriente de falla auxiliar (A).
 $I_{CC1\phi}$: Corriente de corto circuito franco monofásico (A).

SPT en Alta Tensión

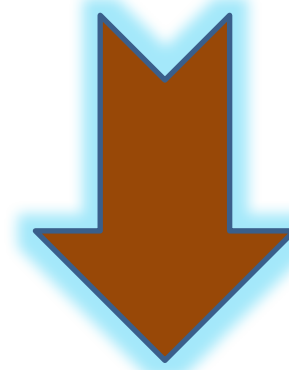


- R_F : Resistencia de falla (Ω).
- X_1 : Reactancia de secuencia positiva (Ω).
- X_2 : Reactancia de secuencia negativa (Ω).
- X_0 : Reactancia de secuencia cero (Ω) .

$$I_{CC3\phi} = \frac{V_{FAT}}{X_1} \Rightarrow X_1 = \frac{V_{LAT}}{\sqrt{3} \times I_{CC3\phi}}$$

X_1 : Reactancia de secuencia positiva (Ω).
 V_{FAT} : Tensión de fase a tierra por el lado de AT (V).
 V_{LAT} : Tensión de línea por el lado de AT (V).
 $I_{CC3\phi}$: Corriente de corto circuito franco trifásico (A).

$$I_{CC3\phi} = \frac{V_{FAT}}{X_2} \Rightarrow X_2 = \frac{V_{LAT}}{\sqrt{3} \times I_{CC3\phi}}$$



X_2 : Reactancia de secuencia negativa (Ω).
 V_{FAT} : Tensión de fase a tierra por el lado de AT (V).
 V_{LAT} : Tensión de línea por el lado de AT (V).
 $I_{CC3\phi}$: Corriente de corto circuito franco trifásico (A).

$$I_{cc1\phi} = \frac{3 \times V_{FAT}}{X_1 + X_2 + X_0} \Rightarrow X_0 = \frac{3 \times V_{LAT}}{\sqrt{3} \times I_{cc1\phi}} - (X_1 + X_2)$$

V_{FAT} : Tensión de fase a tierra por el lado de AT (V).

V_{LAT} : Tensión de línea por el lado de AT (V).

$I_{cc1\phi}$: Corriente de corto circuito franco monofásico (A).

X_1 : Reactancia de secuencia positiva (Ω).

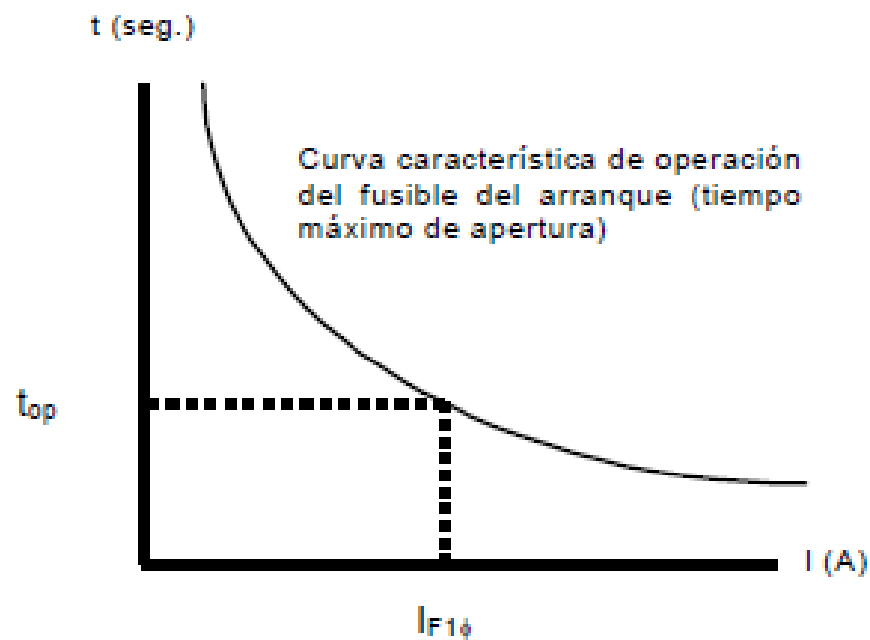
X_2 : Reactancia de secuencia negativa (Ω).

X_0 : Reactancia de secuencia cero (Ω).

SPT en Alta Tensión

Tiempo Real de Operación de la Protección

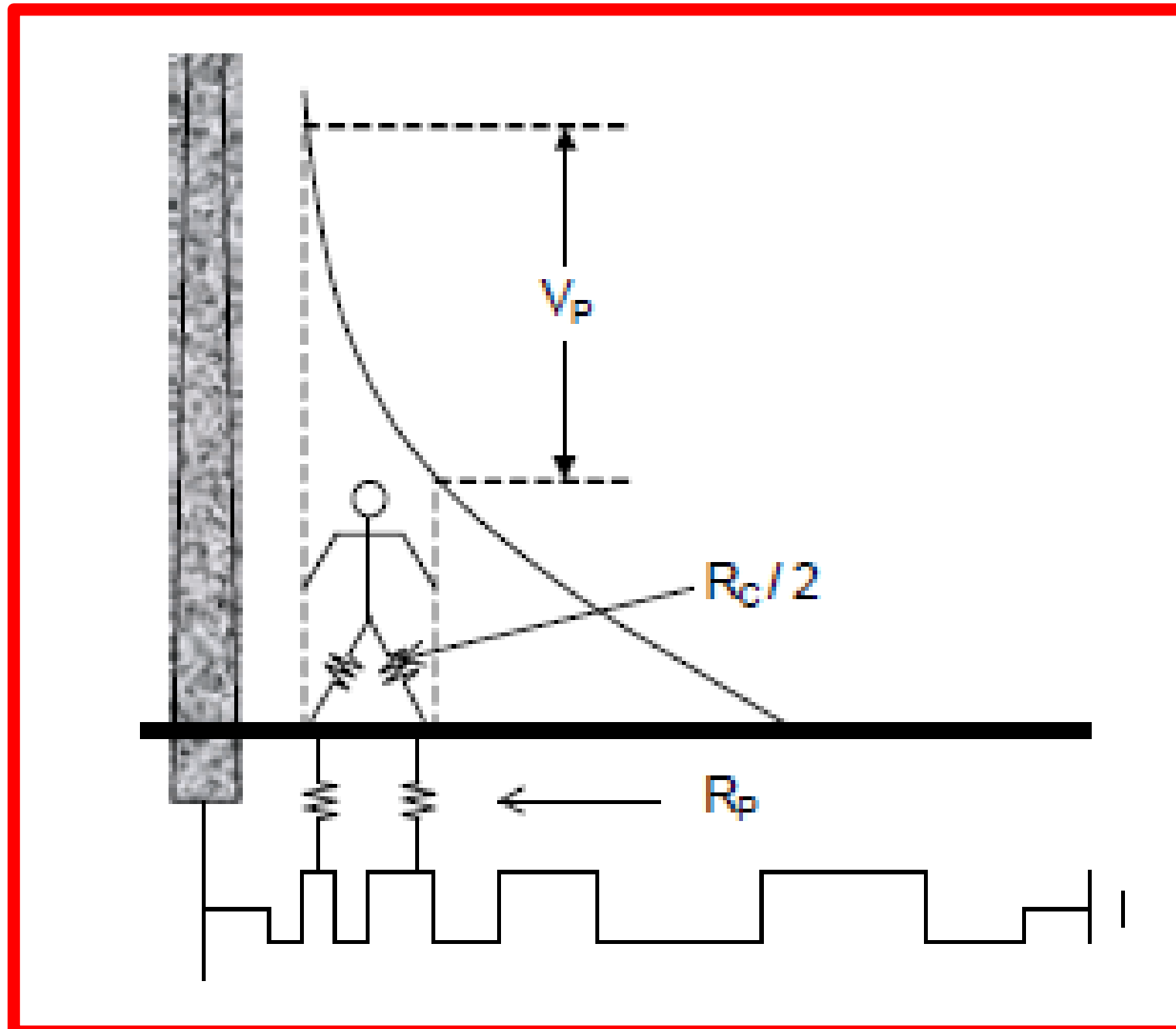
$$I_{F1\phi} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \left(\frac{3 \times V_{LAT}}{\sqrt{(3 \times R_M)^2 + (X_0 + X_1 + X_2)^2}} \right)$$



- $I_{F1\phi}$: Corriente de falla monofásica (A).
- V_{LAT} : Tensión de línea por el lado de AT (V).
- X_1 : Reactancia de secuencia positiva (Ω).
- X_2 : Reactancia de secuencia negativa (Ω).
- X_0 : Reactancia de secuencia cero (Ω).
- R_M : Resistencia de la malla de puesta a tierra (Ω).
- t_{op} : Tiempo de operación de la protección de respaldo (seg).

SPT en Alta Tensión

Voltaje de Paso

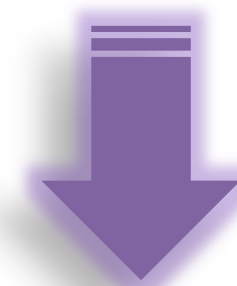


$$V_p = (2 \times R_p + R_c) \times I_c$$



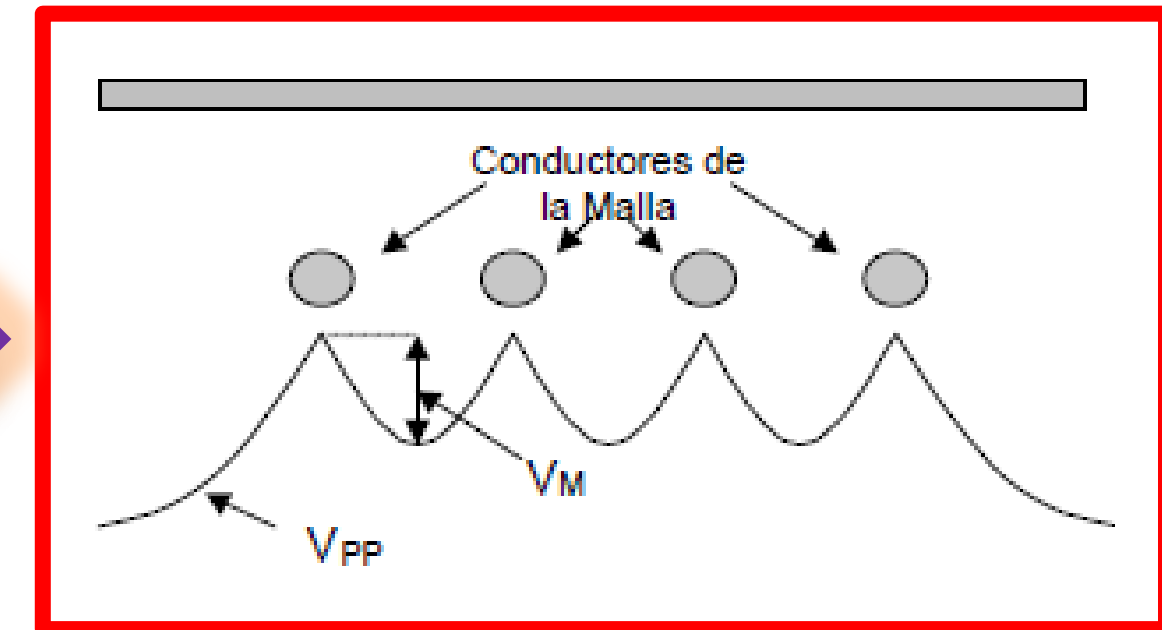
R_p : Resistencia de contacto de los pies (Ω).
 R_c : Resistencia del cuerpo (Ω).
 I_c : Corriente de falla que circula por el cuerpo (A).

$$V_p = \frac{116 + 0,696 \times \rho_s}{\sqrt{t_{op}}}$$



V_p : Voltaje de paso (V).
 ρ_s : Resistividad superficial del terreno (Ω -m).
 t_{op} : Tiempo de operación de la protección de respaldo (seg).

$$V_c = \frac{116 + 0,174 \times \rho_s}{\sqrt{t_{op}}}$$



V_c : Voltaje de contacto (V).
 ρ_s : Resistividad superficial del terreno (Ω -m).
 t_{op} : Tiempo de operación de la protección de respaldo (seg).

$$V_M = \frac{K_M \times K_i \times \rho_{eq} \times I_{F1\phi} \times F_D}{L_m}$$



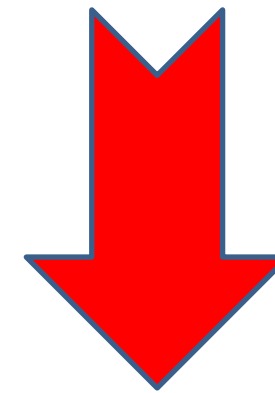
- V_M : Voltaje de malla (V).
 $I_{F1\phi}$: Corriente de falla monofásica (A).
 K_M : Factor de forma de la malla.
 K_i : Factor de irregularidad de la malla.
 F_D : Factor de decremento de la falla.
 ρ_{eq} : Resistividad equivalente del terreno sondeado (Ω - m).
 L_m : Longitud total del conductor de unión de la malla (mts).

$$K_M = \left(\frac{1}{2 \times \pi} \times \ln \frac{D^2}{16 \times h_e \times d} \right) + \left(\frac{1}{\pi} \times \ln \left[\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \cdots n \right] \right) \quad ; \text{para } n = N_A - 2$$



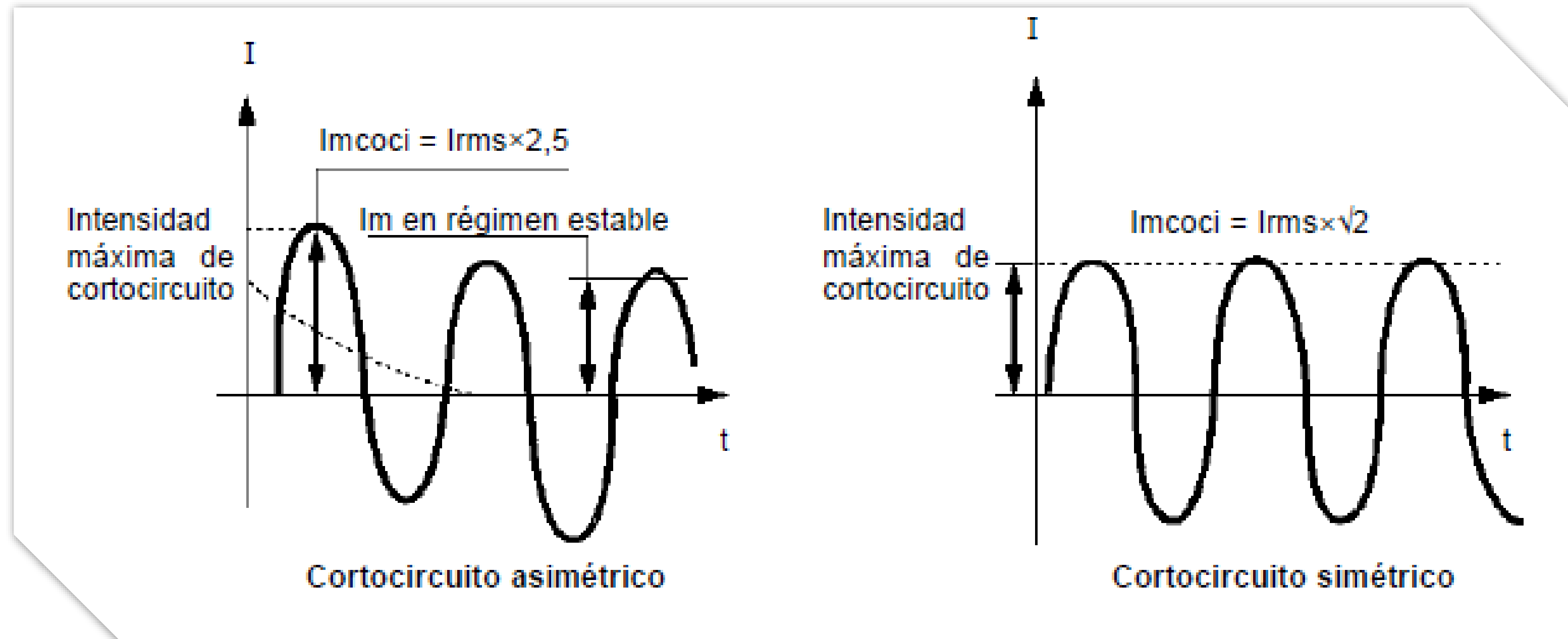
- D : Distancia entre conductores paralelos por el lado de mayor de la malla (mts).
- h_e : Profundidad de enterramiento de la malla (mts).
- d : Diámetro del conductor de la malla (mts).
- N_A : Número de conductores paralelos por el lado de mayor dimensión de la malla.

$$K_i = 0,65 + 0,172 \times N_A$$



N_A : Número de conductores paralelos por el lado de mayor dimensión de la malla.

SPT en Alta Tensión



SPT en Alta
Tensión

Tiempo de operación de la protección (seg)	Factor de decremento recomendado
0,01	1,70
0,02	1,62
0,04	1,50
0,08	1,32
0,10	1,25
0,25	1,10
0,50 ó más	1,00



$$F_D = (F_{D1} - F_{D0}) \times \left(\frac{t_{op} - t_0}{t_1 - t_0} \right) + F_{D0}$$

- t_{op} : Tiempo de operación de la protección de respaldo (según gráfica).
 t_0 : Tiempo de operación inmediatamente inferior al t_{op} (según tabla).
 t_1 : Tiempo de operación inmediatamente superior al t_{op} (según tabla).
 F_{D1} : Factor de decremento para t_1 (según tabla).
 F_{D0} : Factor de decremento para t_0 (según tabla).

Voltaje de Paso por la Periferia.

$$V_{pp} = \frac{K_S \times K_i \times \rho_{eq} \times I_{F1\phi} \times F_D}{L_m}$$

- V_{pp} : Voltaje de paso por la periferia (V).
 $I_{F1\phi}$: Corriente de falla monofásica (A).
 K_S : Factor de superficie de la malla.
 K_i : Factor de irregularidad de la malla.
 F_D : Factor de decremento de la falla.
 ρ_{eq} : Resistividad equivalente del terreno sondeado ($\Omega - m$).
 L_m : Longitud total del conductor de unión de la malla (mts).

$$K_S = \frac{1}{\pi} \times \left[\frac{1}{2 \times h_e} + \frac{1}{D + h_e} + \frac{1}{D} \times \left\langle \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \dots + n \right\rangle \right] \quad ; \text{para } n = N_A$$

N_A : Número de conductores paralelos por el lado de mayor dimensión de la malla.
 D : Distancia entre conductores paralelos por el lado de mayor de la malla (mts).
 h_e : Profundidad de enterramiento de la malla (mts).

- 1.- *El voltaje de malla debe ser menor o igual al voltaje de contacto ($V_M \leq V_C$).*
- 2.- *El voltaje de paso de periferia debe ser menor o igual al voltaje de paso ($V_{PP} \leq V_P$).*

El IEEE Std. 80-1976, Guide for Safety in Substation Grounding, la norma aceptada por la industria eléctrica internacional usa la ecuación de Onderdonk como base para seleccionar el mínimo tamaño del conductor que se funda bajo condiciones de falla.

$$S_{\min} = \frac{K \times I_{F1\phi} \times F_D \times \sqrt{t_{op}}}{1973} \quad (\text{Ec. 18})$$

El factor de conexión K varia a causa de la máxima temperatura admisible para los varios tipos de conexiones.

Tabla 2
Factores k para el cálculo de la sección mínima
(Según IEEE 80)

Tipo de unión	T° máxima admisible (°C)	Valor de K
Conductor solo	1083	6,96
Conexión soldada	450	9,12
Conexión apernada	250	11,54



¿Preguntas?

DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS MEDIA Y ALTA TENSIÓN - EAI6112