

PUESTA A TIERRA EN INSTALACIONES DE ALTA TENSIÓN

Parte 3 – Cálculo de Corrientes de Cortocircuito

FERNANDO BERRUTTI

AÑO 2015

Cálculo de cortocircuitos

Mallas de Tierra

$$I_G = C_P \times S_f \times D_f \times I_f$$

- ▶ I_G : Corriente de diseño de la malla.
- ▶ I_f : Corriente de cortocircuito simétrica.
- ▶ D_f : Factor de decremento.
- ▶ S_f : Factor de división.
- ▶ C_P : Factor de crecimiento.

Cortocircuito simétrico

Para el cálculo de corrientes de cortocircuito en alta tensión se debe utilizar **siempre** el método de componentes simétricas, **salvo situaciones excepcionales.**

Observaciones:

- ▶ El cálculo simplificado que se utiliza en BT es aplicable cuando $R \gg X$.
- ▶ De la teoría, los cortocircuitos 1FT y 2FT pueden ser, dependiendo de la red, mayores o menores entre sí.

Cortocircuito simétrico

▶ Cortocircuitos 1FT:

$$\mathbf{I}_f = 3|\bar{\mathbf{I}}_0| = \frac{3|\bar{\mathbf{E}}|}{|\bar{\mathbf{Z}}_1 + \bar{\mathbf{Z}}_2 + \bar{\mathbf{Z}}_0|}$$

▶ Cortocircuitos 2FT:

$$\mathbf{I}_f = 3|\bar{\mathbf{I}}_0| = \frac{|\bar{\mathbf{Z}}_2 \bar{\mathbf{E}}|}{|\bar{\mathbf{Z}}_1 \bar{\mathbf{Z}}_2 + \bar{\mathbf{Z}}_0 \times (\bar{\mathbf{Z}}_1 + \bar{\mathbf{Z}}_2)|}$$

- ▶ **Importante:** Debe calcularse la corriente máx. para todos los niveles de tensión de la instalación.

Cálculo de cortocircuitos

Mallas de Tierra

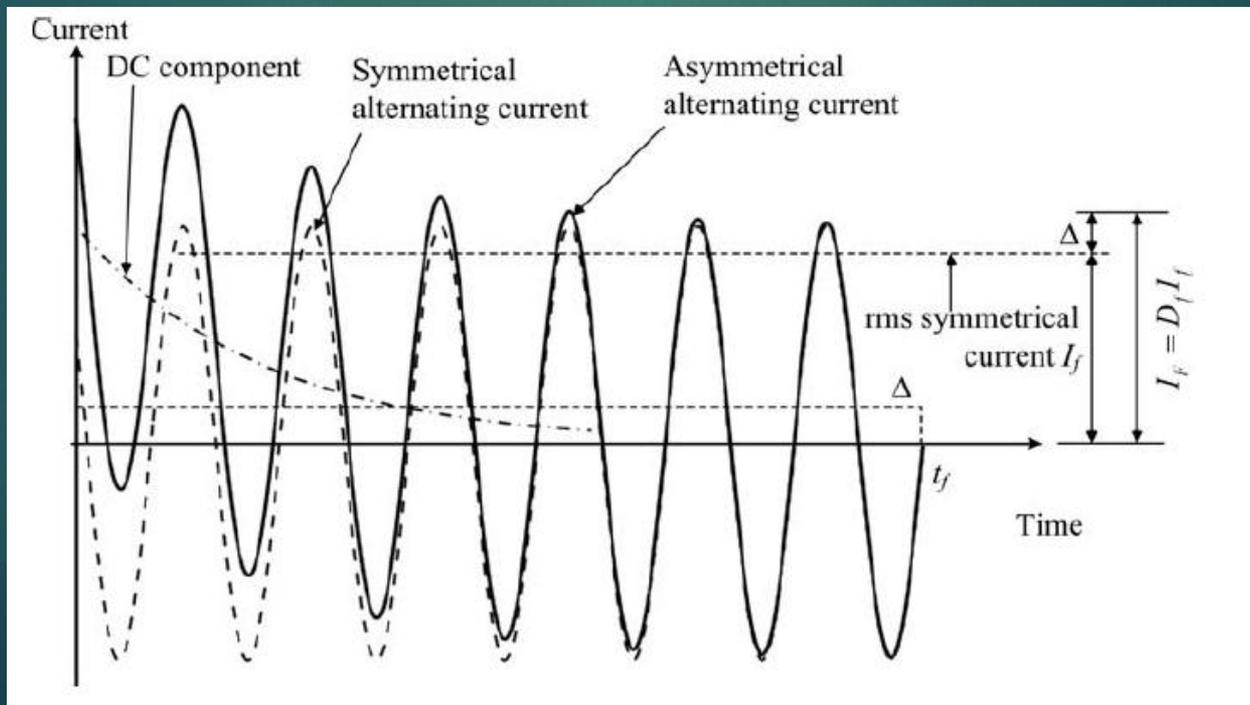
$$I_G = C_P \times S_f \times D_f \times I_f$$

- ▶ I_G : Corriente de diseño de la malla.
- ▶ I_f : Corriente de cortocircuito simétrica.
- ▶ D_f : Factor de decremento.
- ▶ S_f : Factor de división.
- ▶ C_P : Factor de crecimiento.

Factor de Decremento

- **Importante:** Para circuitos de alta tensión, predominantemente inductivos, hay que considerar la componente transitoria del cortocircuito.

$$\mathbf{I_F} = \mathbf{D_f} \times \mathbf{I_f}$$

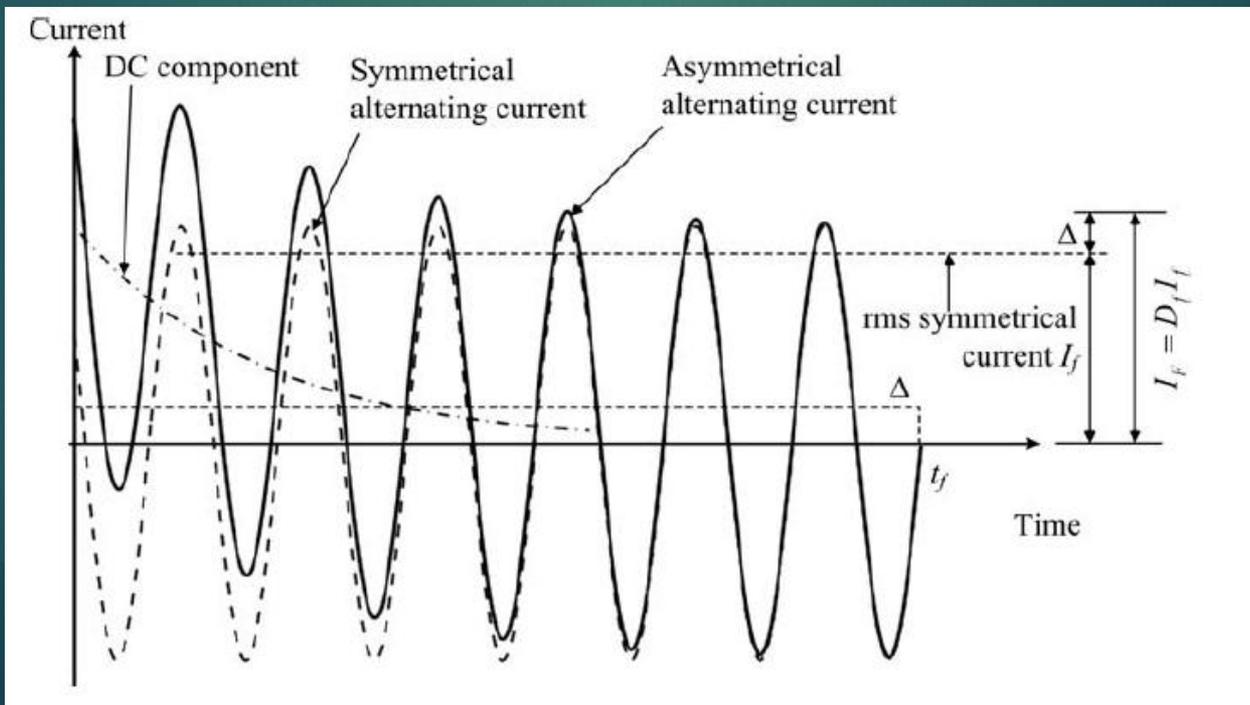


Factor de Decremento

- El factor de decremento toma en consideración la componente transitoria del cortocircuito durante el tiempo presunto de falla.

$$I_F = D_f \times I_f$$

$$I_F = \sqrt{\frac{1}{t_f} \int_0^{t_f} i_f^2(t) \cdot dt}$$



Factor de Decremento

$$I_F = D_f \times I_f$$

$$\frac{X}{R} = \frac{X_1 + X_2 + X_0}{R_1 + R_2 + R_0}$$

Fault duration t_f (s)	Decrement factor D_f			
	$X/R = 10$	$X/R = 20$	$X/R = 30$	$X/R = 40$
0.01	1.576	1.648	1.675	1.688
0.02	1.462	1.576	1.623	1.648
0.05	1.269	1.417	1.497	1.544
0.1	1.148	1.269	1.355	1.417
0.2	1.077	1.148	1.213	1.269
0.3	1.052	1.101	1.148	1.192
0.4	1.039	1.077	1.113	1.148
0.5	1.031	1.062	1.091	1.120
0.75	1.021	1.042	1.062	1.082
1.0	1.016	1.031	1.047	1.062

Cálculo de cortocircuitos

Mallas de Tierra

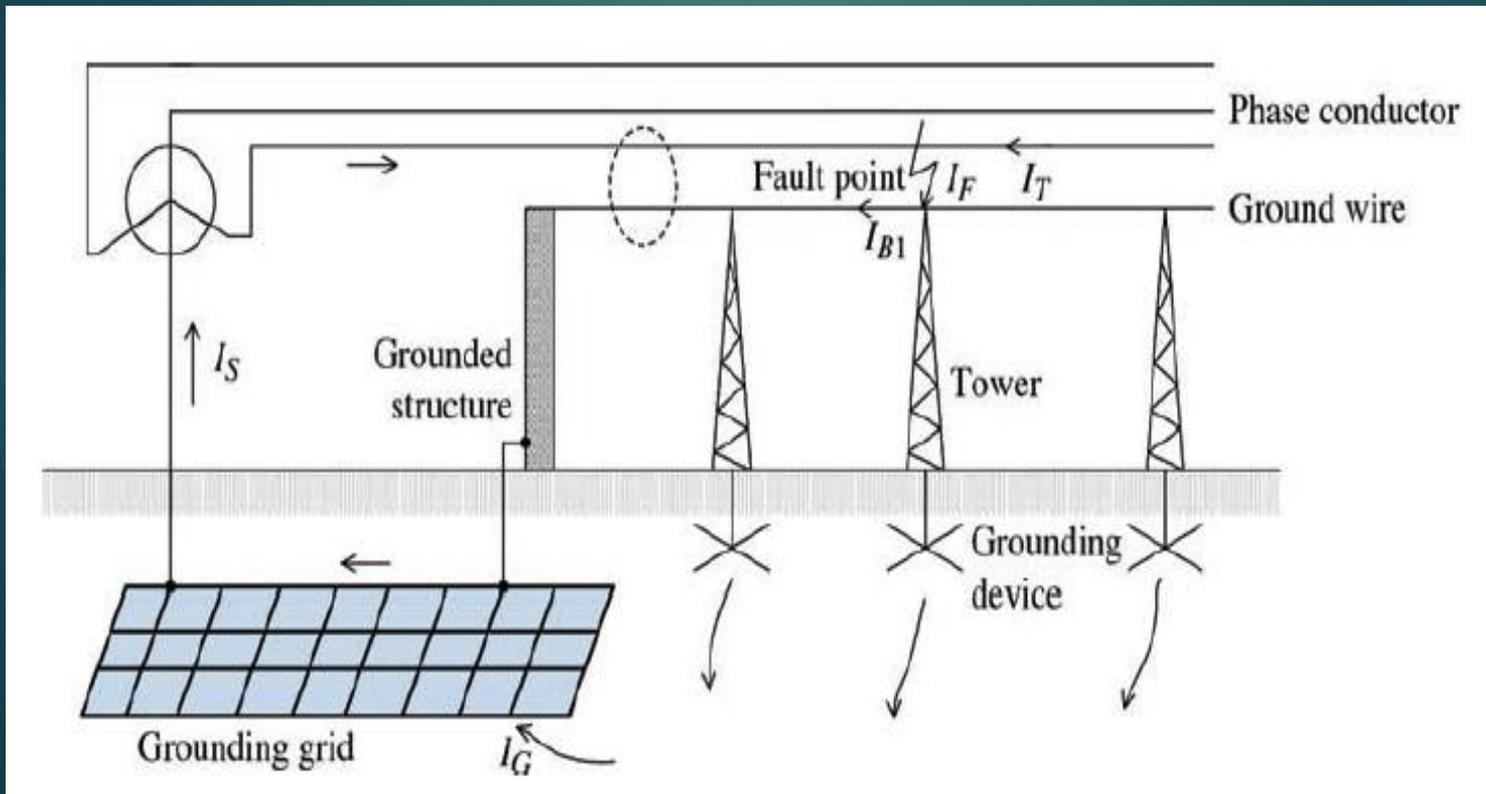
$$I_G = C_P \times S_f \times D_f \times I_f$$

- ▶ I_G : Corriente de diseño de la malla.
- ▶ I_f : Corriente de cortocircuito simétrica.
- ▶ D_f : Factor de decremento.
- ▶ S_f : Factor de división.
- ▶ C_p : Factor de crecimiento.

Factor de división (S_F)

10

- ▶ Factor que considera la influencia del vínculo de tierra entre las diferentes instalaciones del sistema de potencia.
- ▶ Su inclusión es producto de las deficiencias en el modelado del sistema eléctrico.



Factor de división (S_F)

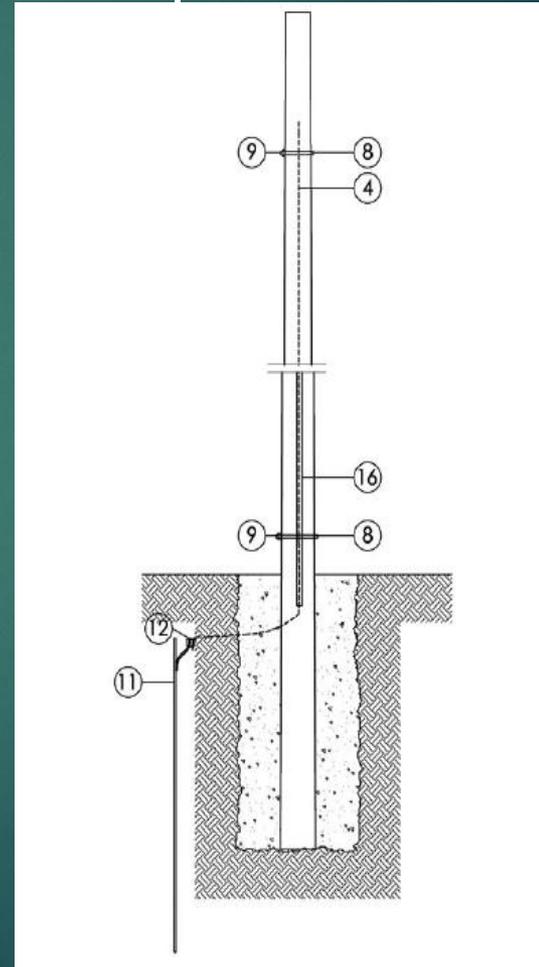
11

- ▶ Hilos de guardia en MT/AT.

hilo de guardia



Aterramiento
postación



SUBESTACIONES EN MT

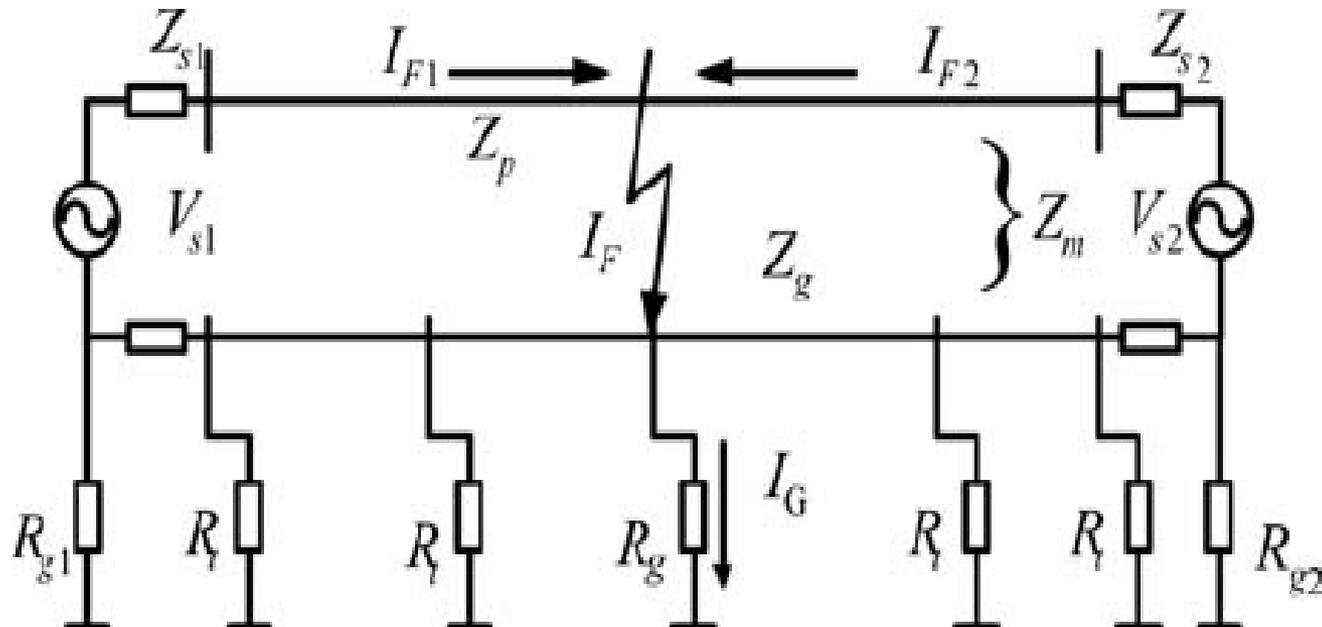
Factor de división (S_F)

12

- Observar en la red de la figura:
 - 1) Modelado del hilo de guardia.
 - 2) Modelado del aterramiento de torres.

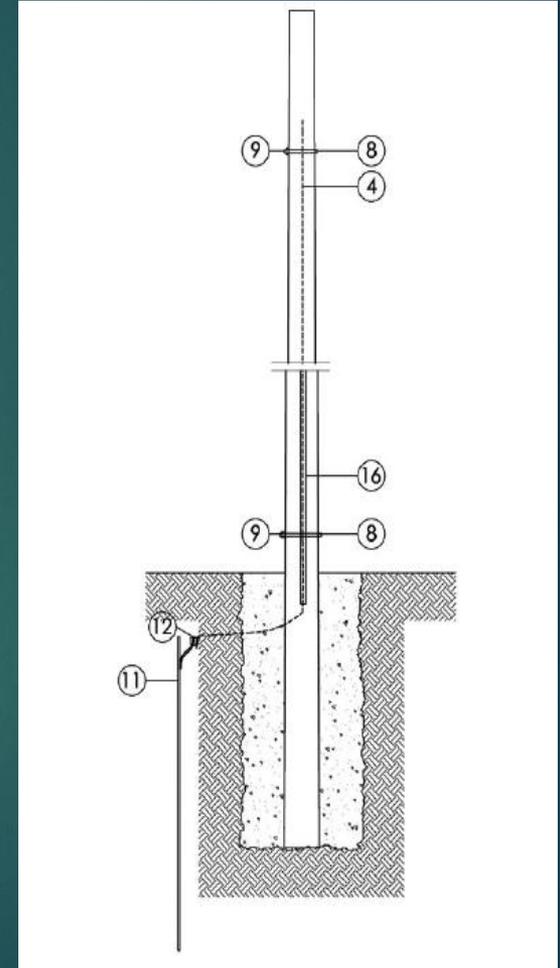
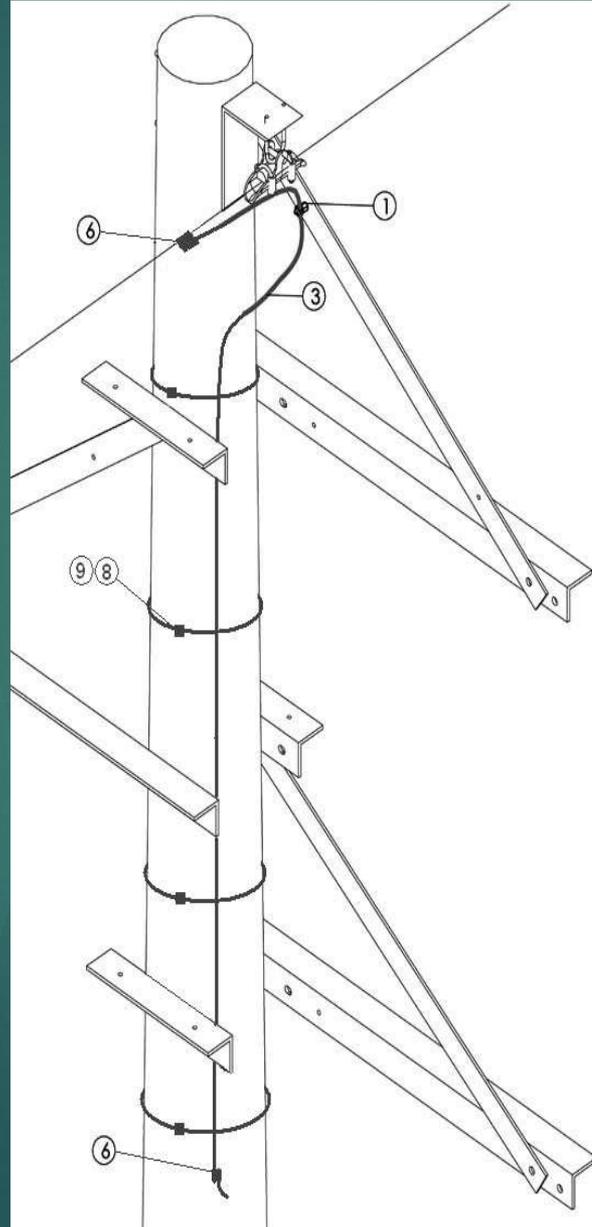
¿Por qué nunca se modela esto?

¿Cómo puede ocurrir una falla fase-tierra?



Factor de división (S_F)

13

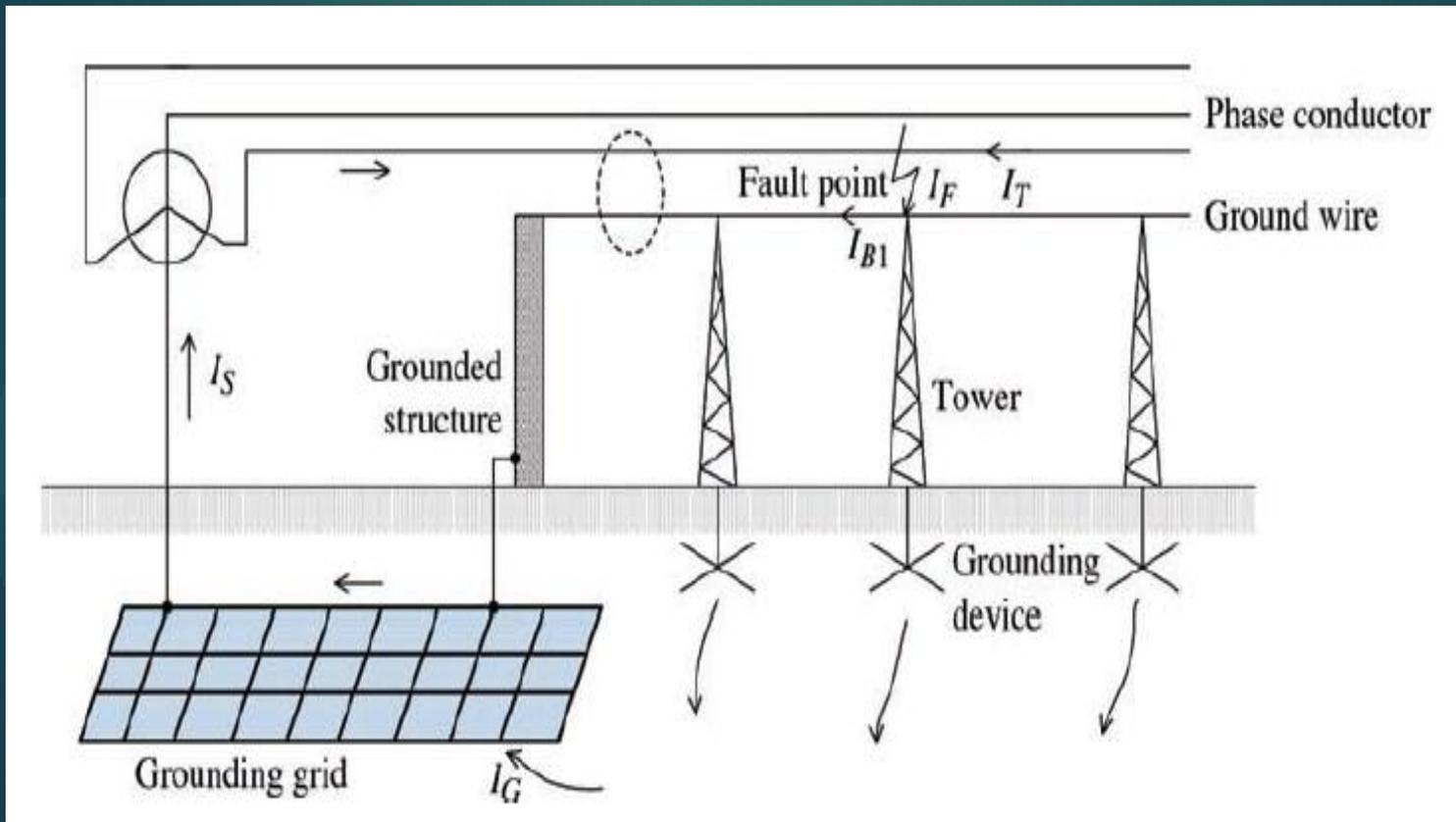


Factor de división (S_F)

14

► Autoneutralización en redes MT/AT:

Comportamiento que se asemeja simultáneamente al régimen TT y TN-S de BT.



Factor de división (S_F)

15

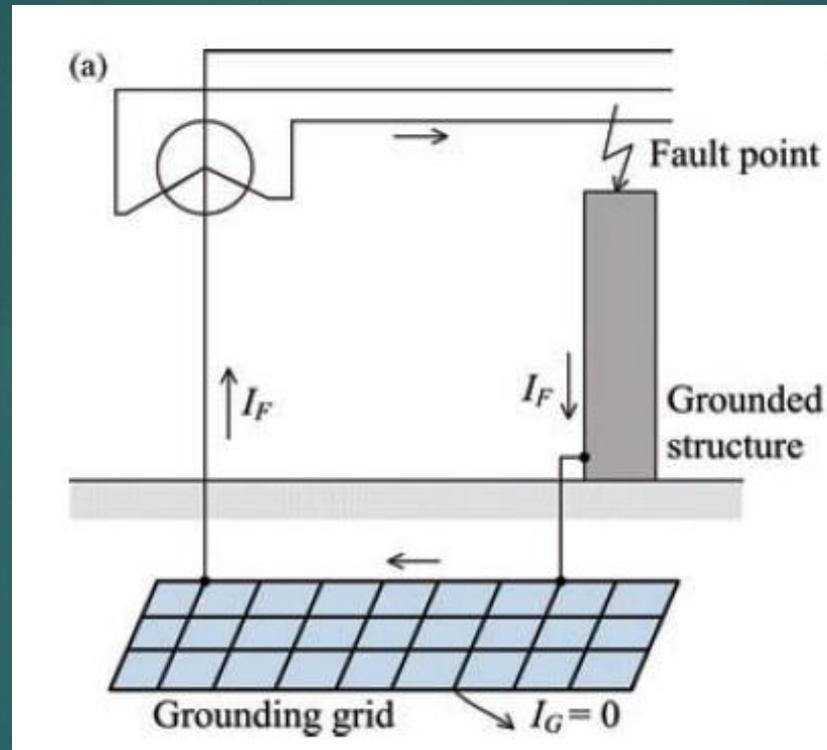
OBSERVACION CLAVE

- ▶ La circulación de corriente por una malla y el fenómeno de la autoneutralización de corriente depende básicamente de dos factores:
 - 1) El lugar físico donde ocurre el cortocircuito.
 - 2) El régimen de neutro de las cargas y generadores de la red.

Factor de división (S_F)

16

EJEMPLO 1: Cortocircuito dentro de la instalación de MT/AT. Neutro aterrado.



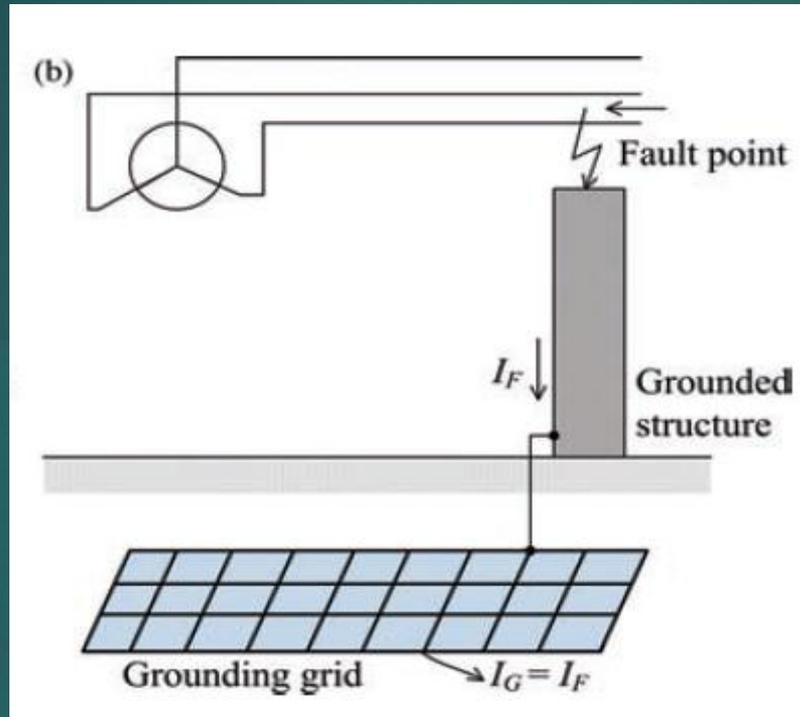
SUBESTACIONES EN MT

- Situación similar a régimen TN-S de BT, la corriente circula por la malla, pero no se inyecta a tierra, cerrando el bucle. $S_F = 0$

Factor de división (S_F)

17

EJEMPLO 2: Cortocircuito dentro de la instalación de MT/AT. Neutro aislado.

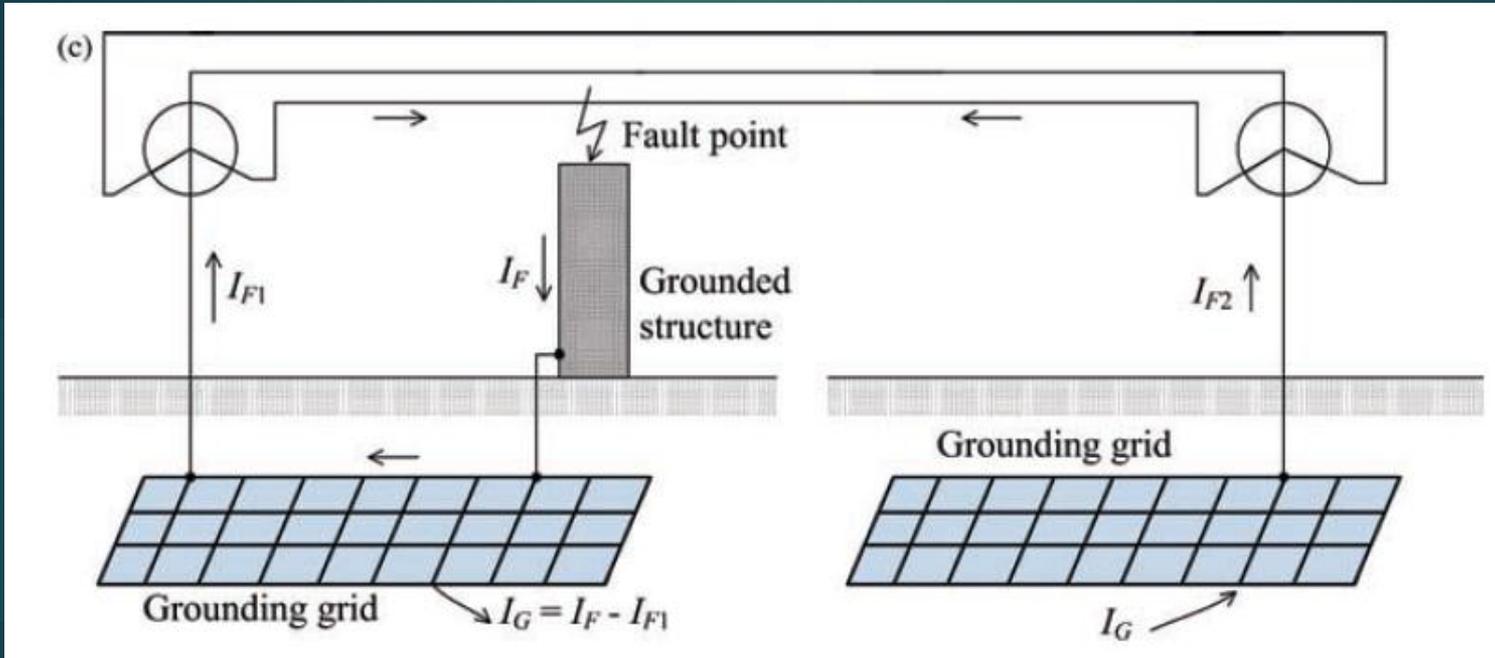


- ▶ Para el caso de la figura $S_F = 1$ e implícitamente se supone la existencia de un neutro aterrado en el extremo remoto.

Factor de división (S_F)

18

EJEMPLO 3: Cortocircuito dentro de la instalación en redes de neutro aterrado.



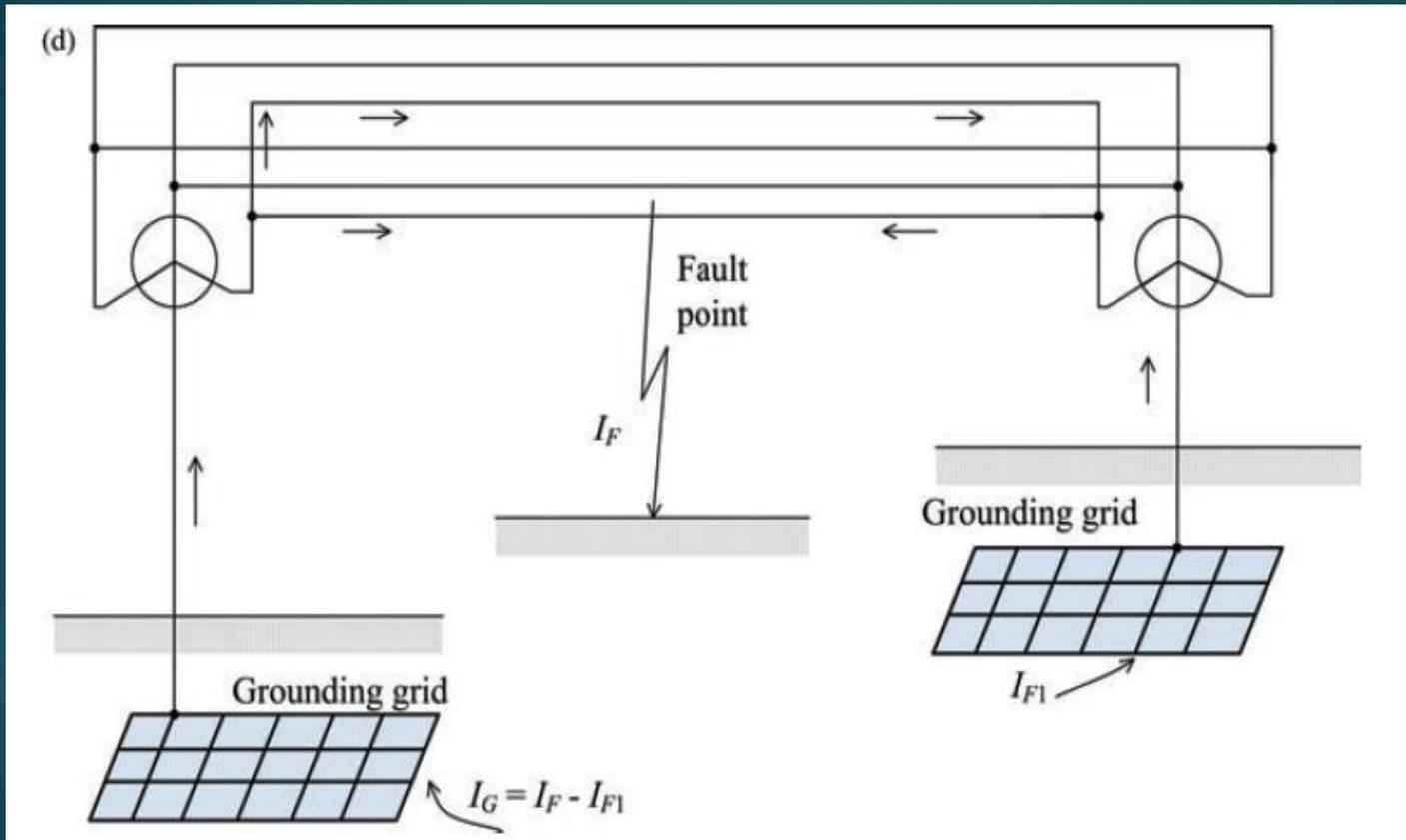
- ▶ Contribución de dos fuentes provoca la circulación de corriente.

Observar cómo se puede afectar una instalación que opere sin fallas debido al vínculo de tierras.

Factor de división (S_F)

19

EJEMPLO 4: Cortocircuito en una línea de AT.



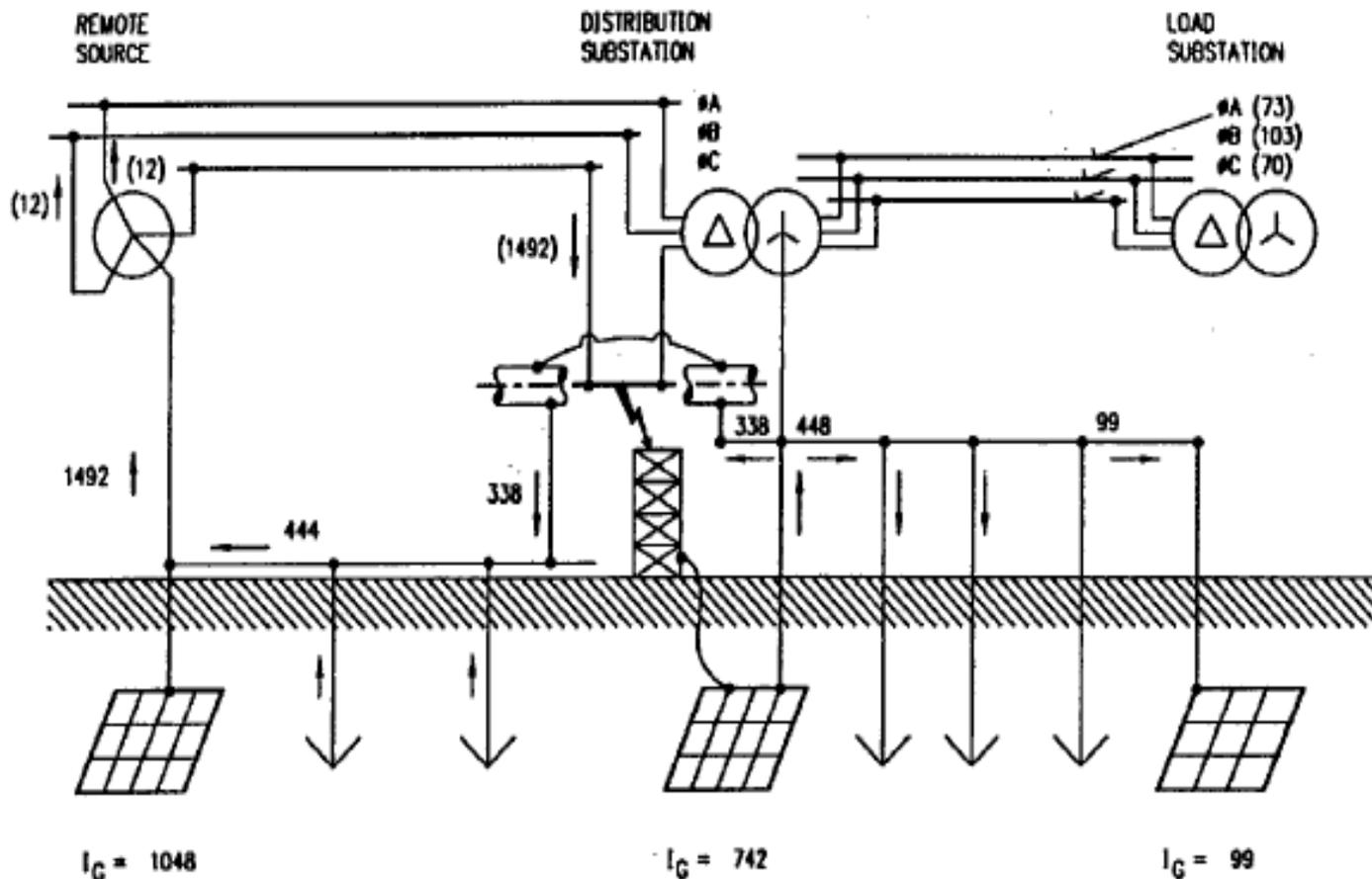
SUBESTACIONES EN MT

- ▶ Contribución de dos fuentes provoca la circulación de corriente.

Factor de división (S_F)

20

EJEMPLO 5:



SUBESTACIONES EN MT

- Importa conocer físicamente la red para determinar cómo se distribuye la corriente.

Cálculo de cortocircuitos

Mallas de Tierra

$$I_G = C_P \times S_f \times D_f \times I_f$$

- ▶ I_G : Corriente de diseño de la malla.
- ▶ I_f : Corriente de cortocircuito simétrica.
- ▶ D_f : Factor de decremento.
- ▶ S_f : Factor de división.
- ▶ C_P : Factor de crecimiento.

Factor de crecimiento (C_p)

22

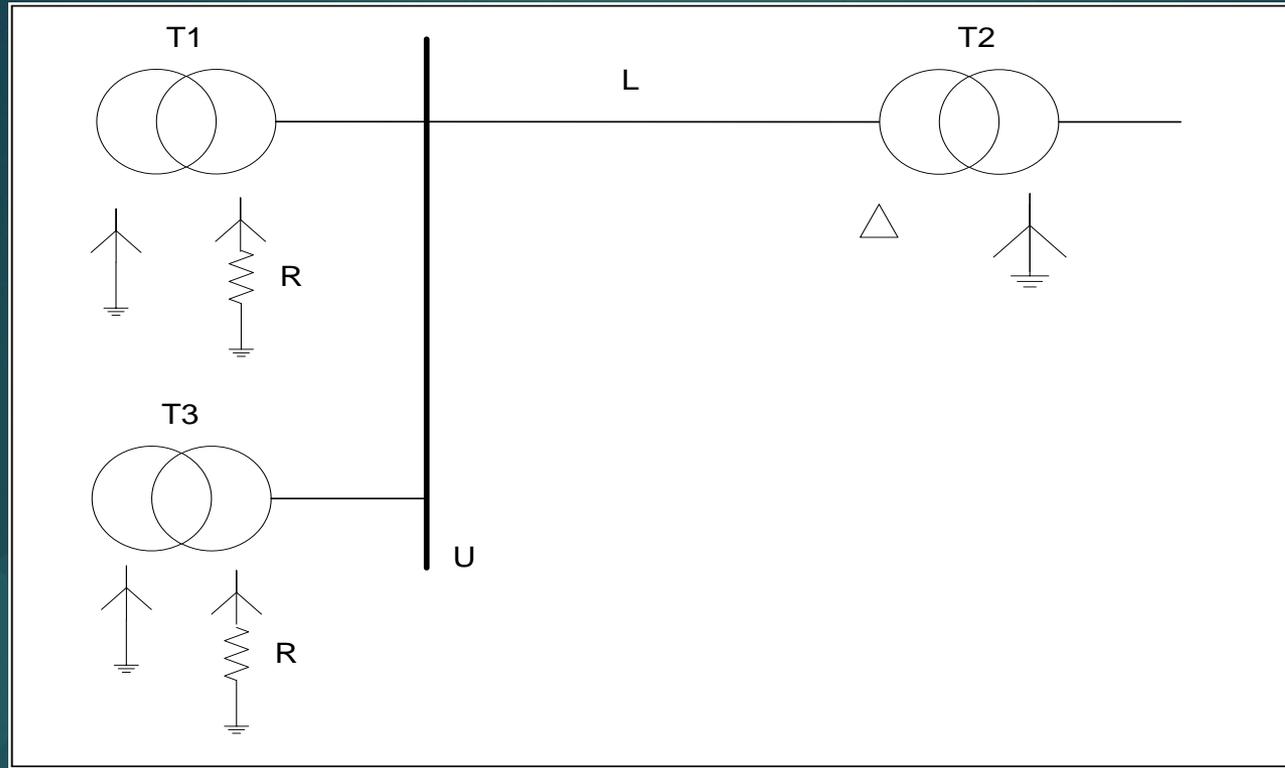
SUBESTACIONES EN MT

- ▶ Una instalación de MT/AT tiene una vida útil mayor a 20 años, por tanto se utiliza un factor de cobertura, previendo que durante el ciclo de vida pueda suceder lo siguiente:
 - 1) Ampliación de potencia de transformación.
 - 2) Ampliación del parque generador.
 - 3) Mallado de la red.

Valores típicos: $1 < C_p < 5$

Factor de crecimiento (C_P)

23



SUBESTACIONES EN MT

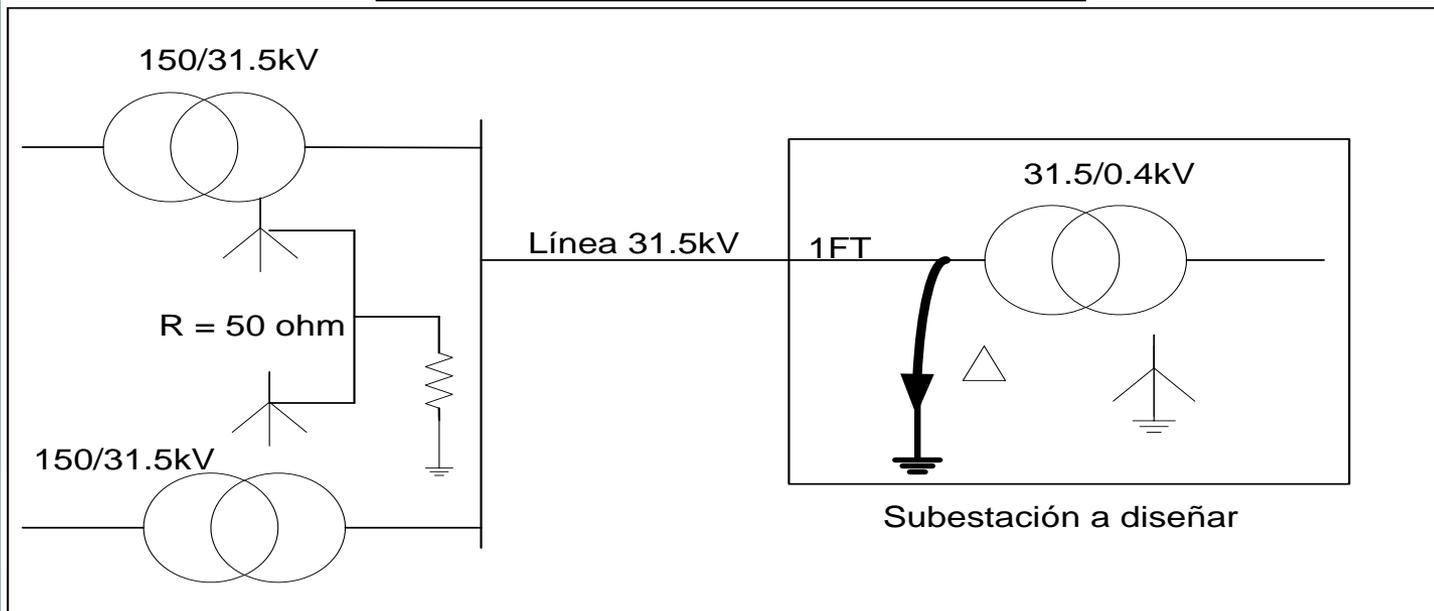
- **Pregunta 1:** ¿Cómo evoluciona la corriente de cortocircuito en el bornes del triángulo de T2, cuando se instalan transformadores en paralelo a T1 y T3?

Factor de crecimiento (C_P)

24

SUBESTACIONES EN MT

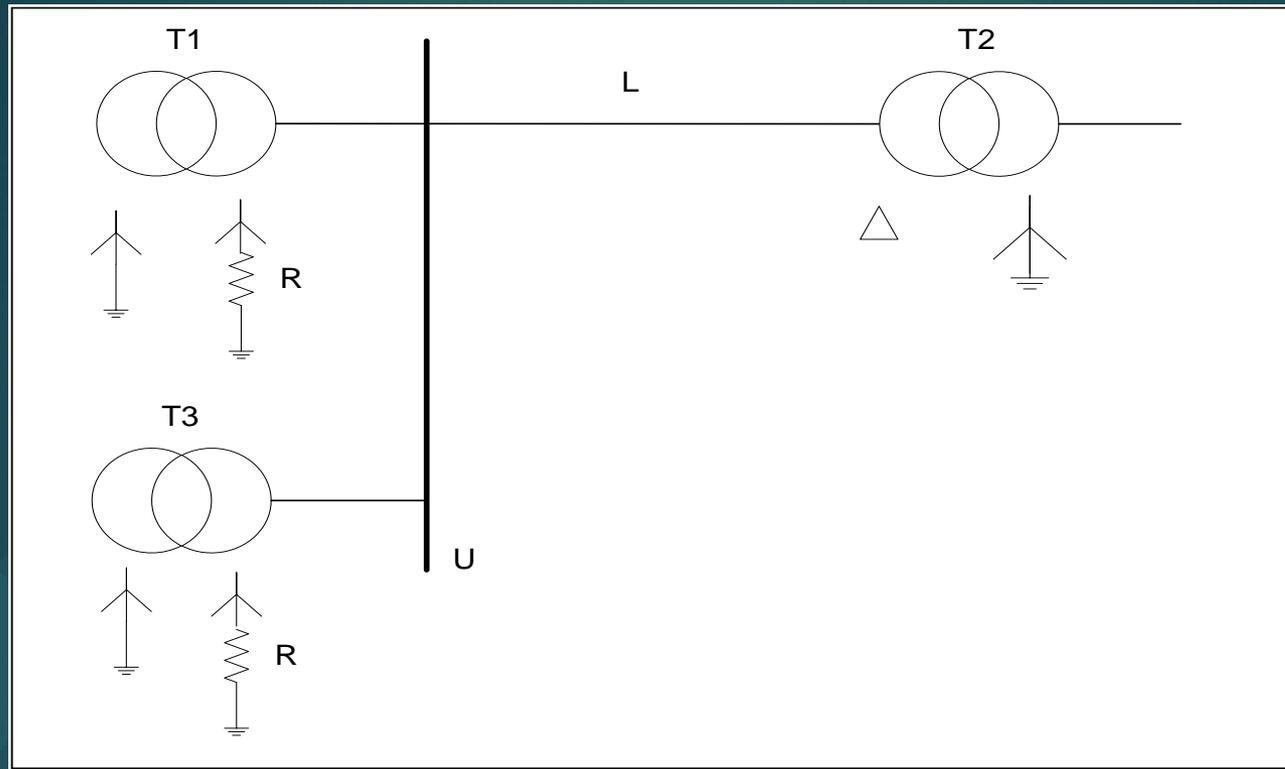
$$I_f = 3|\bar{I}_0| = \frac{3|\bar{E}|}{|\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_0|} < \frac{U}{\sqrt{3}R}$$



- **Pregunta:** ¿Y si se colocan n transformadores en paralelo compartiendo resistencia de neutro?

Factor de crecimiento (C_P)

25



SUBESTACIONES EN MT

- **Pregunta 2:** ¿Cómo evoluciona la corriente de cortocircuito en el bornes de alta de los transformadores T1 y T3?

Cálculo de cortocircuitos

Mallas de Tierra

$$I_G = C_P \times S_f \times D_f \times I_f$$

Recordar:

- ▶ El cálculo debe efectuarse para todos los niveles de tensión que intervienen en la instalación.

Cálculo de cortocircuitos

27

- ▶ Conocida la máxima corriente de cortocircuito en una instalación...
 - 1) ¿Qué fracción de esta corriente puede tolerar un ser humano si forma parte de un circuito accidental de tierra?
 - 2) ¿Cómo podría controlarse esta fracción de corriente?

Cálculo de cortocircuitos

28

- ▶ Conocida la máxima corriente de cortocircuito en una instalación...

