



**Diseño y cálculo de mallas a
tierra y protecciones
SEMANA 3**

Cortocircuitos en redes de baja tensión

Fundamentos teóricos

Introducción

Para proyectar adecuadamente una instalación de distribución de potencia eléctrica es absolutamente esencial conocer los **niveles de falla** previstos por los cálculos en todos los puntos del sistema.

La especificación de **equipamientos, conductores, barras de distribución, protecciones, etc.**

Así por ejemplo, para especificar una protección se debe corroborar entre otras cosas, que la máxima corriente que esta protección puede despejar (que es un dato aportado por el fabricante) **no sea menor**, que la mayor corriente de cortocircuito presunta calculada en el punto de instalación de esta protección.

De esta forma para poder realizar un adecuado estudio de protecciones eléctricas, es indispensable que previamente se haya realizado un prolijo **estudio de los niveles de cortocircuitos en todos los puntos relevantes del sistema.**

Causas y consecuencias de los cortocircuitos

En el diseño de las instalaciones eléctricas, se deben considerar no solo las **corrientes nominales de servicio**, sino también las sobrecorrientes debidas a las **sobrecargas** y a los **cortocircuitos**.

El **cortocircuito** se define como una conexión de relativamente baja resistencia o impedancia, entre dos puntos de un circuito que están normalmente a **tensiones diferentes**.

Las corrientes de cortocircuito se caracterizan por un incremento prácticamente instantáneo y varias veces superior a la corriente nominal, en contraste con las de una sobrecarga que se caracteriza por el incremento mantenido en un intervalo de tiempo y algo mayor a la corriente nominal.

Tipos de cortocircuitos

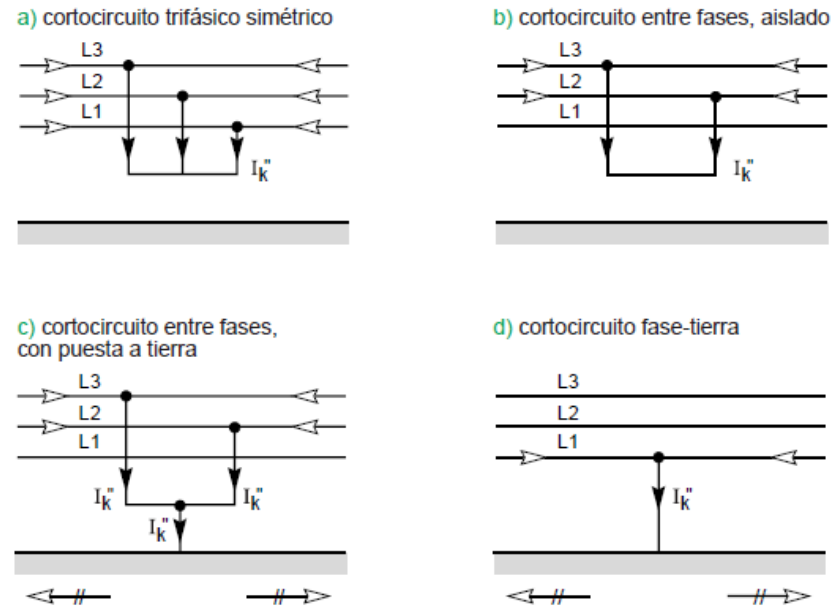


Fig.1 : Clasificación de los cortocircuitos

Los porcentajes promedios de ocurrencia de cada tipo de cortocircuito en una instalación, se indican en la tabla siguiente:

Tipos de cortocircuitos	Incidencia (%)
Monofásicos	80 %
Bifásicos	15 %
Trifásicos	5 %

Origen de los cortocircuitos

- a) **Por deterioro o perforación deterioro o perforación del aislamiento:** debido a calentamientos excesivos prolongados, ambiente corrosivo o envejecimiento natural.
- b) **Por problemas mecánicos:** rotura de conductores o aisladores por objetos extraños o animales, ramas de arboles en líneas aéreas e impactos en cables subterráneos.
- c) **Por sobretensiones debido a descargas atmosféricas, maniobras o a defectos.**
- d) **Por factores humanos:** falsas maniobras, sustitución inadecuada de materiales, etc.
- e) **Otras causas:** vandalismos, incendios, inundaciones, etc.

Fuentes y comportamiento transitorio de las corrientes de cortocircuito

Las fuentes que aportan al cortocircuito se denominan elementos activos y son esencialmente las **Máquinas rotativas eléctricas**.

Los elementos que consideraremos son:

- Red de suministro de energía eléctrica de la distribuidora (UTE)
- Máquinas eléctricas síncronas (generadores y motores)
- Máquinas eléctricas asíncronas (motores)

Máquinas síncronas

Las fuentes del sistema público de distribución de energía eléctrica son esencialmente generadores síncronos.

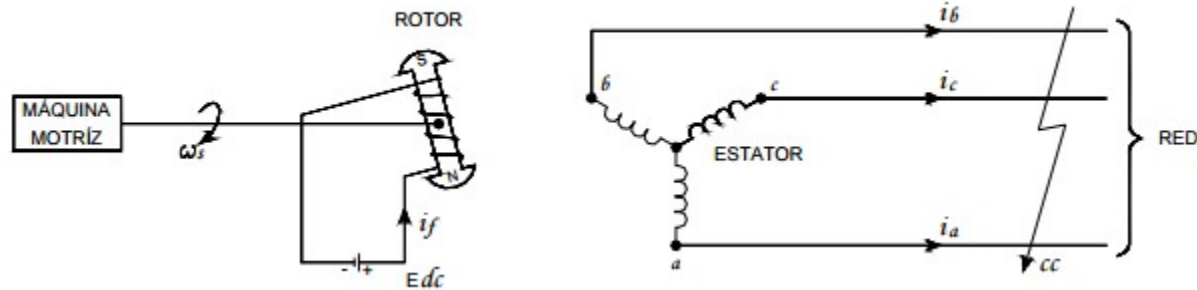


Fig. 2: Diagrama de una máquina síncrona funcionando como generador

Al producirse un cortocircuito en los bornes del estator, eje de una máquina síncronica continua girando, accionado por su máquina motriz (**funcionando como motor**), y el campo del rotor excitado por la fuente externa de corriente continua, por lo que en ambos casos la máquina se comporta como una fuente aportando al cortocircuito.

Máquinas síncronas

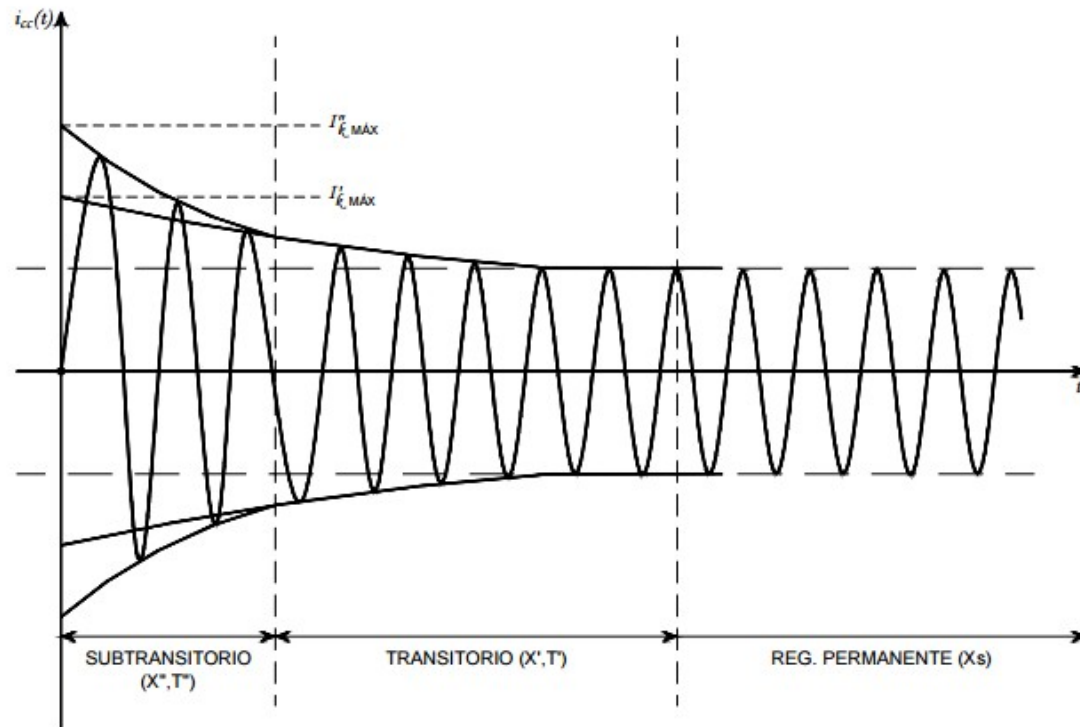


Fig. 3: Comportamiento de la corriente de cortocircuito máquina síncrona

Máquinas síncronas

A los efectos de cálculo de cortocircuito se modelan máquinas eléctricas síncronas, como una fuente de tensión ideal en serie con una reactancia interna correspondiente al período que se quiera estudiar:

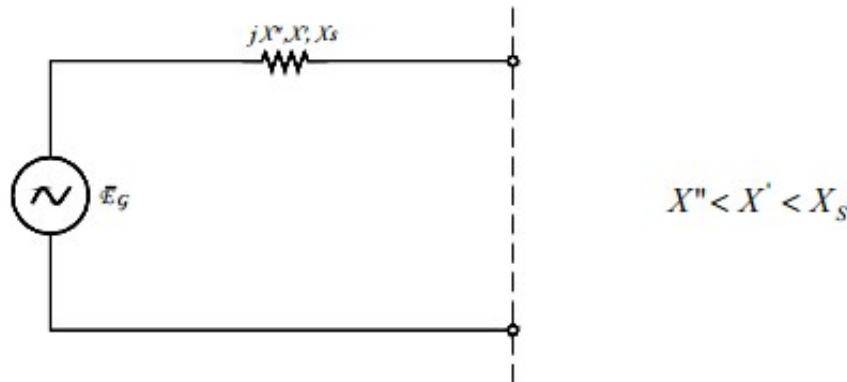


Fig. 4: Circuito equivalente de una máquina síncrona

Máquinas asíncronas o de inducción

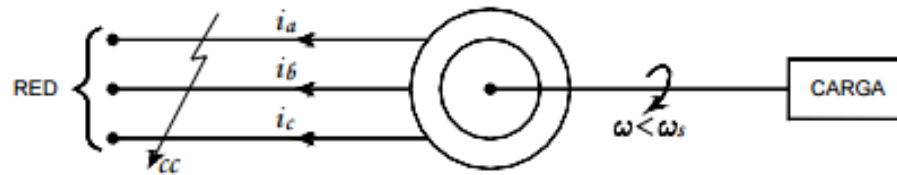


Fig. 5: Diagrama de una máquina asíncrona funcionando como motor

En los motores asíncronos, el estator está alimentado por la red de corriente alterna, que genera un campo magnético giratorio a la frecuencia de sincronismo. El rotor en esta máquina gira a una velocidad menor a la de sincronismo y el campo no está alimentado por una fuente externa, sino que es creado por inducción del estator sobre el arrollamiento o jaula del rotor.

Máquinas asíncronas o de inducción

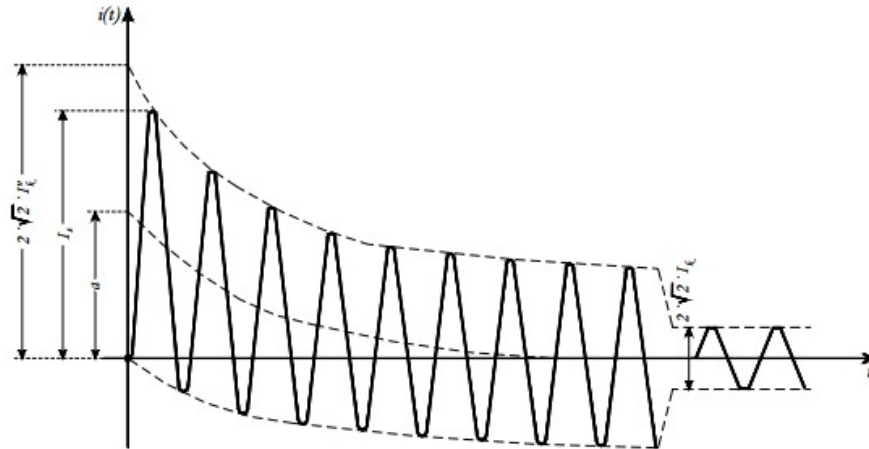


Fig. 6: Comportamiento de la corriente de cortocircuito máquina asíncrona

En el caso de un cortocircuito la tensión de alimentación del campo del estator deja de existir, y por lo tanto la excitación del campo del rotor. El transitorio en este caso sólo se debe al campo magnético residual existente en el rotor y la inercia de la carga, y la corriente de cortocircuito tenderá a cero rápidamente en un período de 2 a 3 ciclos.

Red de distribución (UTE)

Usualmente la empresa distribuidora (UTE) nos indica la potencia de cortocircuito o la corriente de cortocircuito simétrica inicial, en el punto de conexión:

$$I''_{kQ}$$

Corriente de cortocircuito simétrica inicial

$$Un_Q$$

Tensión nominal eficaz de línea de la red

$$S''_{kQ} = \sqrt{3} \cdot Un_Q \cdot I''_{kQ}$$

Potencia de cortocircuito simétrica inicial

$$Z_Q = \frac{Un_Q}{\sqrt{3} \cdot I''_{kQ}} = \frac{Un_Q^2}{S''_{kQ}}$$

Valor absoluto de la impedancia de cortocircuito

Para los cálculos de la corriente de cortocircuito en instalaciones de baja tensión, [se puede despreciar la componente resistiva](#) de la impedancia de cortocircuito de la red :

$$\overline{Z_Q} = R_Q + jX_Q \cong jX_Q$$

Red de distribución (UTE)

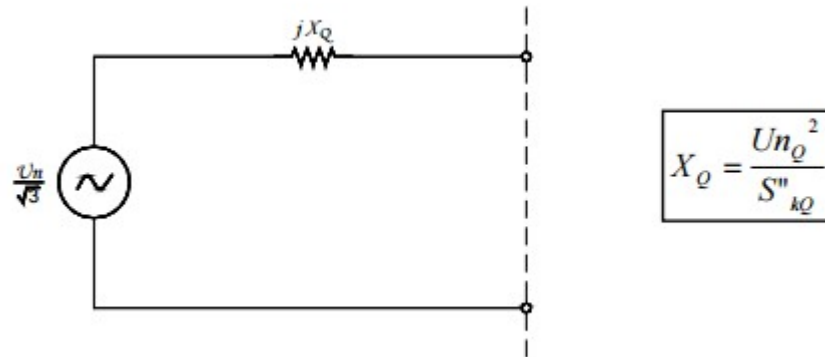


Fig. 7: Modelo equivalente de la red de distribución (UTE)

Transformadores de potencia

La impedancia de los transformadores de potencia de dos arrollamientos de dos enrollados se determina a partir de la tensión de cortocircuito obtenida del ensayo de cortocircuito del transformador a corriente nominal:

$$Z_T = \frac{u_{kT}(\%) \cdot Un^2}{100 \cdot Sn} = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$$

Sn Potencia nominal aparente del transformador

Un Tensión nominal eficaz de línea del lado de BT

$u_{kT}(\%)$ Tensión de cortocircuito en %

Transformadores de potencia

La componente resistiva de la impedancia de cortocircuito se calcula a partir de las pérdidas en el cobre del transformador y de la corriente nominal.

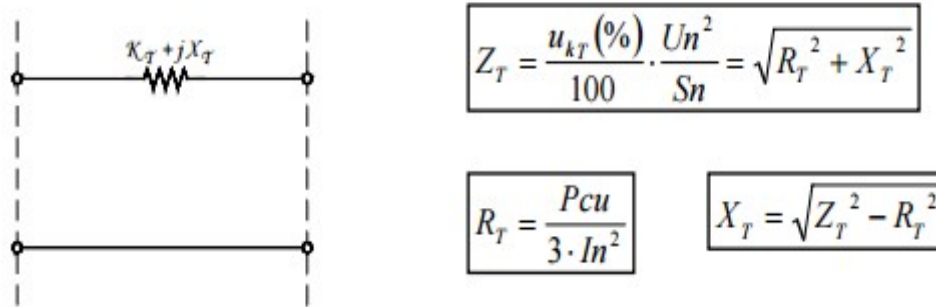


Fig. 7: Modelo equivalente de un transformador de potencia

Transformadores de potencia

En el caso de desconocer la impedancia porcentual del transformador, se pueden utilizar los siguientes valores indicados en la Tabla 1.

Tabla 1
Impedancias porcentuales típicas de transformadores

Rango de potencia (kVA)	Z%
$5 \leq S_T \leq 100$ kVA	3,5%
$100 < S_T \leq 400$ kVA	4,0%
$400 < S_T \leq 1000$ kVA	4,6%
$S_T > 1000$ kVA	5,0 %

La pérdida en el cobre del transformador es un dato que debería conocerse por medio de la ficha técnica o catálogo del fabricante de la máquina. Si no se contará con este dato, podemos utilizar según el rango de potencia los datos de la Tabla 2.

Tabla 2
Pérdidas en el cobre típicas de transformadores

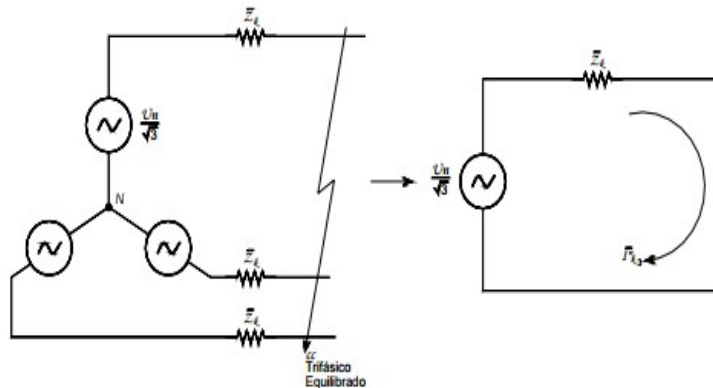
Rango de potencia (kVA)	P_{cu} (W)
$5 \leq S_T \leq 100$ kVA	600
$100 < S_T \leq 400$ kVA	2200
$400 < S_T \leq 1000$ kVA	4300
$S_T > 1000$ kVA	5000

Ecuaciones para los diferentes cortocircuitos

Las ecuaciones establecidas para el cálculo de las **corrientes de cortocircuito** en sistemas trifásicos de corriente alterna, permiten realizar un cálculo aproximado y suficiente para la mayoría de las instalaciones en baja tensión.

Para un estudio más riguroso del cálculo de cortocircuitos se utiliza el **Método de las componentes simétricas**.

Cortocircuito trifásico equilibrado: Corresponde a un cortocircuito entre las tres fases en forma simultánea.



$$\bar{I}_{k3}'' = \frac{\bar{U}_n}{\sqrt{3} \cdot \bar{Z}_k}$$

I_{k3}''

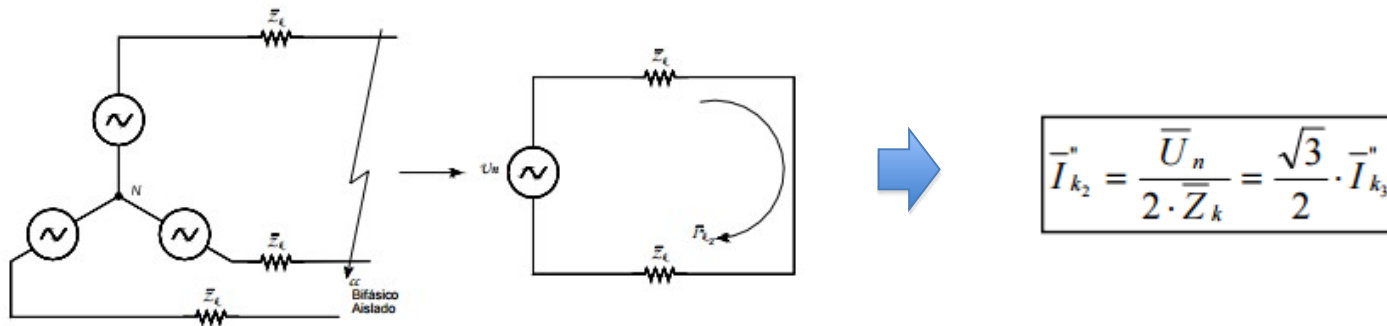
Corriente inicial simétrica de cortocircuito trifásico.

Z_k

Impedancia equivalente del circuito de falla.

Ecuaciones para los diferentes cortocircuitos

Cortocircuito entre dos fases (bifásico aislado de tierra)

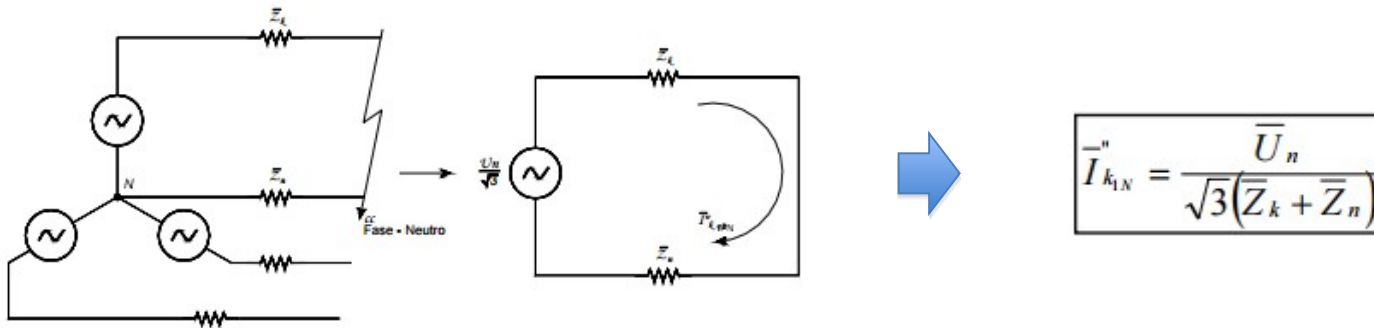


I_{k_2}'' Corriente de cortocircuito bifásico aislado de tierra.

Según lo indicado en las expresiones anteriores, la corriente de cortocircuito bifásica es equivalente al **86,6 %** veces la amplitud de la falla trifásica.

Ecuaciones para los diferentes cortocircuitos

Cortocircuito monofásico entre una fase y neutro



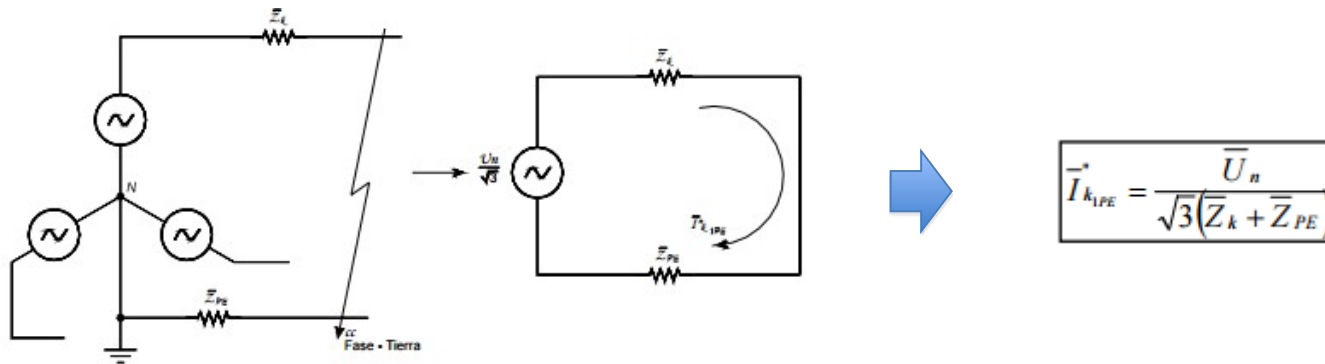
I_{k1N}^* Corriente de cortocircuito entre una fase y neutro.

Z_n Impedancia equivalente del conductor neutro de retorno

Ecuaciones para los diferentes cortocircuitos

Cortocircuito monofásico entre una fase y tierra

En este caso dependerá del sistema de distribución (neutro aterrado o neutro aislado), pero en general podemos considerar como Z_{PE} la impedancia de retorno por tierra.



I_{k1PE}^* Corriente de cortocircuito entre fase y tierra.

Z_{PE} Impedancia equivalente del retorno por tierra.