

CÁLCULO DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO EN BAJA TENSIÓN

El autor declina toda responsabilidad derivada de la incorrecta utilización de las informaciones, esquemas y planillas de cálculo reproducidos o relacionados con el presente artículo y no será responsable de eventuales errores u omisiones, ni de las consecuencias de la aplicación de las informaciones, esquemas o planillas de cálculo contenidos o relacionados con este texto.

Objetivo:

La presente memoria tiene como objeto describir en forma sencilla procedimientos para el cálculo de Corrientes de Cortocircuito (Icc) en Baja Tensión y su aplicación en planillas de cálculo. Se tratará el tema de la legislación vigente a Junio de 2013 en la República Argentina.

Introducción:

Aunque en términos poco técnicos, podríamos definir a la Corriente de Cortocircuito en un punto de una instalación eléctrica como la **capacidad de hacer daño** que tiene esa instalación en ese punto. Cuando nos referimos a la capacidad de hacer daño, involucramos tanto a las instalaciones como a los **habitantes** del lugar (personas, animales domésticos y de cría). Por lo tanto, es un tema que merece mucha importancia.

Este documento, obviamente, no es una Norma, es simplemente una orientación de cálculos. Es importante que el proyectista aplique criterio, conocimientos e investigación para cada instalación.

Nos basaremos en la *Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles AEA 90364 - Parte 7 - Reglas Particulares para las Instalaciones en Lugares y Locales Especiales - Sección 771: Viviendas, oficinas y locales (unitarios) - Edición Marzo 2006*. Es un documento muy completo y un material de consulta permanente para todo proyectista e instalador.

No vamos a ir siguiendo el desarrollo con un ejemplo, en cambio pueden ir ejercitando el uso de una planilla de cálculo, la cual se puede descargar de nuestra web www.hsingenieria.com.ar --> [Descargas](#).

Consideraciones Preliminares:

Se estudiarán sistemas de Baja Tensión radiales.

Se tomaron datos de transformadores de distribución trifásicos, tipo Dy11, fabricados bajo Norma IRAM 2250 y se obtuvieron de http://www.tadeoczzerweny.com.ar/productos/tcz_pr_di.asp.

Nos ocuparemos del Método de la Impedancias Absolutas ya que es de sencilla aplicación en sistemas radiales de Baja Tensión.

Las hipótesis simplificativas que tomaremos pueden dar resultados moderadamente en exceso de corrientes de cortocircuito.

La AEA (Página 134-AEA 90364-7-771-Ed. 2006) indica que la Icc Máxima la proveerá la empresa distribuidora o bien puede ser realizada por cálculo, recomendando la aplicación de métodos descriptos en AEA 90909. Pero además aporta una guía de cálculo y tablas en el Anexo 771-H (Páginas 223 á 234 AEA 90364-7-771-Ed. 2006).

De lo antedicho, debemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones (Página 224)

- El cortocircuito se supone equilibrado.
- La tensión no varía durante el tiempo de cortocircuito.
- La resistencia de arco no se considera.
- La falla es franca ($R=0$).
- Los factores de tensión c son los indicados en la Tabla I de AEA 90909-0.
- Se adopta una potencia de cortocircuito en la red de media tensión igual a 300 MVA.

Los cálculos en Baja Tensión se realizan en Valor Eficaz y luego se calcula el Valor de Choque utilizando un gráfico que relaciona R/X con un Factor K de afectación al Valor Eficaz.

Desarrollo

En primer lugar recordemos los casos típicos de los tipos de cortocircuito a estudiar:

- Trifásico: $I_{cc_3} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{cc}}$

- Bifásico: $I_{cc_2} = \frac{U}{2 \cdot Z_{cc}}$

- Monofásico: $I_{cc_1} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (Z_{cc} + Z_{LN})}$; recuerde que a veces la sección de neutro es

menor a la de fase, por lo que $Z_{LN} > Z_{cc}$ pues con Z_{cc} nos referimos a las impedancias de fase.

- Fase a Tierra: $I_{cc_h} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (Z_{cc} + Z_h)}$; siendo Z_h la impedancia homopolar, que en

este caso es la impedancia involucrada desde el defecto hasta el centro estrella del transformador a través del esquema de tierra.

Características de las corrientes de falla:

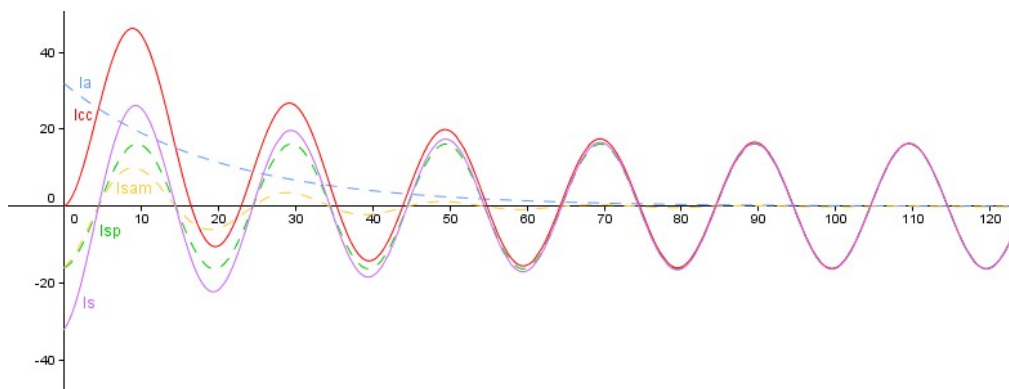


Figura 1

En la Figura 1 se muestran las distintas curvas que componen una corriente de falla típica. Está realizada con fines didácticos, no significa que los análisis deban hacerse en base a esta descripción. El Eje X está definido en milisegundos para una frecuencia de 50 Hz, donde 1 ciclo son 20 ms. Lo que se observa en esta figura es lo siguiente:

I_{sam} : En naranja punteado. Corriente Simétrica Amortiguada.

I_{sp} : En verde punteado. Corriente Simétrica Permanente. Es la que persistiría si la falla se extiende más allá del período transitorio.

I_s : En lila. Corriente Simétrica. Es la suma de $I_{sam} + I_{sp}$.

I_a : En celeste punteado. Es la componente unidireccional, responsable de la asimetría y es decreciente.

I_{cc} : En rojo. Es la suma de $I_s + I_a$, dando la corriente total esperada.

Recordemos que los análisis de fallas se realizan en tres períodos:

Subtransitorio: Abarca los primeros ciclos. Se pueden considerar de 1 a 10 ciclos, dependiendo el caso de análisis. De aquí surge la Corriente de Choque « I_{ch} » que es la necesaria para calcular los esfuerzos electrodinámicos, por ejemplo en la barras de un tablero.

Transitorio: Transcurre desde el final del Subtransitorio hasta 1 o 2 segundos después. Es el período responsable de las sollicitaciones térmicas en las instalaciones.

Permanente: Es la que persistiría luego del período transitorio si la falla no es despejada. Los esfuerzos térmicos de las instalaciones son inadmisibles y seguramente estamos ante una falla de diseño.

Basándonos en la Figura 2, observemos las siguientes características:

- Amplitud: Depende de la tensión, de la impedancia aguas arriba del defecto y de la impedancia propia de la falla que en los casos que estudiaremos se toma $Z_f = 0$

- Amortiguamiento de la Amplitud: Depende de la relación $\frac{R_{tot}}{L_{tot}}$. La inductancia L

está relacionada con la reactancia X por la ecuación $X = 2\pi f.L$. Durante el transcurso de la falla, X no permanece constante, sino que va aumentando, pasando por los períodos, subtransitorio, transitorio y permanente. Esto hace que la I_{cc} vaya disminuyendo mientras transcurren estos períodos.

- Asimetría: La asimetría depende de la relación $\frac{R_{tot}}{L_{tot}}$ y de $\cos \varphi_{falla} = \frac{R_{tot}}{Z_{tot}}$. También es una curva amortiguada.

Es decir que estamos en presencia de un doble amortiguamiento, uno de amplitud y otro de asimetría. Aunque usamos la palabra «amortiguamiento» o «amortiguación» esto no significa que la corriente esperada sea menor, sino todo lo contrario. En los primeros ciclos de una falla, los valores de corriente de cresta pueden alcanzar valores muy importantes y después se amortigua.

Además, las tres características anteriores dependen del punto de la senoide en que se encuentra la onda de tensión en el momento de la falla, llamado ángulo de disparo α . Cuanto más cercano a cero es α mayor es la I_{cc} . En una falla trifásica,

siempre existe una de las 3 fases que se encuentra «predispuesta» a generar un máximo.

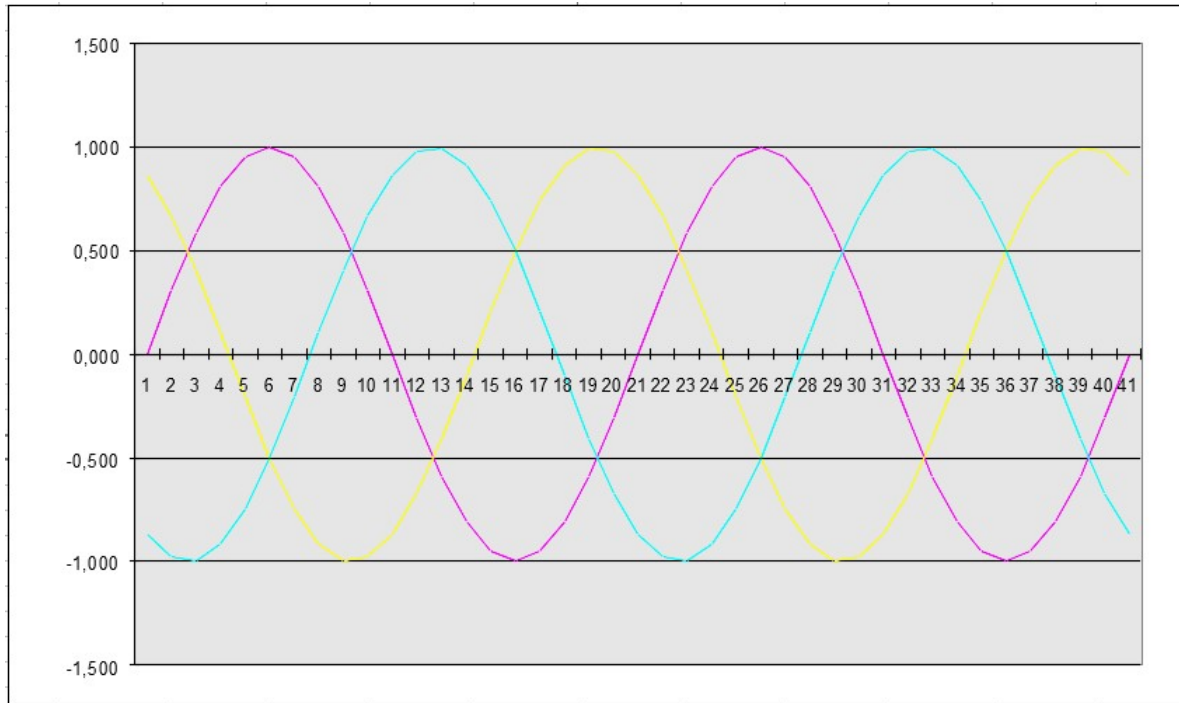


Figura 2

Como se observa en la Figura 2, cuando una de las tensiones se encuentra en «zona de máximos», las otras dos tensiones están en zonas cuyo α está cercano a cero.

El fenómeno de falla es complejo y la modelización matemática no siempre es perfecta, aunque se puede aproximar con suficiente exactitud.

Generalmente, para describir matemáticamente la falla en función del tiempo se utiliza la siguiente expresión:

$$Icd(t) = \frac{E}{Z} \left[\text{sen}(\alpha + \alpha - \varphi) - e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \text{sen}(\alpha - \varphi) \right] \quad \text{Ecuación (1)}$$

Esta ecuación es una simplificación de lo visto en la Figura 2 y es sólo válida para los períodos subtransitorio y transitorio.

Además de las variables involucradas anteriormente, cabe mencionar que la corriente de falla depende de la frecuencia y si bien generalmente analizamos la frecuencia fundamental, en algunos casos hay que analizar la aparición de armónicos.

Procedimiento de Cálculo:

Unidades a utilizar:

- Resistencias, Reactancias e Impedancias están expresadas en miliOhms [$m\Omega$].
- Tensiones en Volt [V]
- Potencias en [kVA] o [KW] según el caso.
- Intensidades Nominales en Amper [A]
- Intensidades de Cortocircuito [kA]

El método de cálculo consiste en los siguientes pasos:

- 1.- Calcular las Resistencias (R) y las Reactancias (X) de cada elemento involucrado.
- 2.- Sumar Resistencias y Reactancias por separado.
- 3.- Calcular la Impedancia (Z) en el punto.
- 4.- Calcular la Icc en Valor Eficaz, aplicando la Ley de Ohm y teniendo en cuenta los diferentes tipos de defecto. Ver Figura 1.
- 5.- Calcular la Icc de Choque aplicando el Factor K.

A continuación veremos qué datos necesitamos y cómo obtenerlos.

A.- Datos de la Línea aguas arriba del Transformador.

Dada la Potencia de Cortocircuito propuesta de 300 MVA (300.000 kVA) como barra de suministro, obtendremos la Resistencia y Reactancia de este elemento (Barra de Media Tensión o Red de Alimentación).

$$Z_{Qt} = \frac{c_Q \cdot U_{nBT}^2}{S_{kQ}''} \quad c_Q = 1,1; \quad U_{nBT} = 400 [V]; \quad S_{kQ}'' = 300.000 [kVA]$$

$$Z_{Qt} = \frac{11.400}{300000} = 0,038 [m\Omega] \quad (1)$$

$$X_{Qt} = 0,995 \cdot Z_{Qt} = 0,038 [m\Omega]$$

$$R_{Qt} = 0,1 \cdot X_{Qt} = 0,0038 [m\Omega]$$

Si bien la ecuación (1) tiene como resultado lo que aparenta ser una constante aplicable a todo caso, no es así. Es una buena aproximación para casos generales pero el proyectista debe considerar casos particulares como por ejemplo:

- Transformadores de Servicios Auxiliares de una Estación Transformadora, donde las Icc pueden ser mayores.
- Lugares con generación aislada, donde las corrientes de cortocircuito pueden ser bajas al punto de no ser detectables por algunos elementos de protección.

B.- Datos del Transformador.

Se pueden obtener de las páginas web de los fabricantes, como por ejemplo www.tadeoczweny.com.ar

- Resistencia del Transformador R_T . Para calcularla debemos conocer la Potencia de pérdidas del transformador en cortocircuito P_{cc} ó P_{kr} [kW] y utilizamos la siguiente expresión:

$$R_T = \frac{1.000 \cdot P_{kr}}{3 I_n^2} = \frac{P_{kr} U_n^2}{S_n^2}$$

con I_n en A, U_n en V, y S_n en kVA



.- Impedancia del Transformador Z_T .

$$Z_T = \frac{u_{cc}^{[\%]} U_n^2}{100 S_n}$$

.- Reactancia del Transformador X_T .

$$X_T = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

C.- Datos de Cables.

También son de fácil obtención en las páginas web de los fabricantes, por ejemplo en <http://www.prysmian.com.ar>.

En la mayoría de las tablas encontrarán los valores de Resistencia y Reactancia en $[\Omega/\text{km}]$. Esta unidad es equivalente a $[\text{m}\Omega/\text{m}]$, que es la que estamos utilizando en este texto, por lo tanto no es necesaria ninguna conversión. Los datos de estas tablas son unitarios (por kilómetro o por metro) y los simbolizaremos en letras minúsculas:

$$r_c [\text{m}\Omega / \text{m}]; x_c [\text{m}\Omega / \text{m}]$$

Para realizar los cálculos de R, X y Z, basta con multiplicar los datos de las tablas por la longitud en metros.

$$R_c = l \cdot r_c [\text{m}\Omega]; X_c = l \cdot x_c [\text{m}\Omega]$$

En esta etapa, se van calculando las Resistencias y Reactancias de cada tramo de cable. Por ejemplo desde el Transformador al Tablero Principal, desde el Tablero Principal al Tablero Secundario 1, e incluso las de los circuitos terminales.

D.- Otros Datos

Algunos autores recomiendan, incorporar las impedancias de las barras, por ejemplo de tableros principales. En tal caso se tomará $z = 0,15 [\text{m}\Omega/\text{m}]$ y se puede sumar en la planilla de cálculo. Si se desprecia esta impedancia, la I_{cc} presunta puede ser levemente mayor.

También se suelen tomar en cuenta los interruptores automáticos que permanecen cerrados aguas arriba del defecto, considerando $Z=0,15 [\text{m}\Omega]$.

E.- Aporte de Motores.

Habitualmente se consideran los motores cuyas potencias son iguales o mayores a 50 kW, aunque a veces, en presencia de varios motores de menor potencia se suele tomar la suma de ellos como el aporte de un solo motor equivalente, totalizando las potencias de dichos motores.

Ante una falla, los motores asíncronos se comportan como un generador aportando energía hacia el defecto durante un corto período (1 a 3 ciclos). Este aporte depende de las características del motor, de su carga y de la impedancia desde el motor hasta el punto de falla. Dado que en una planta es bastante impredecible el estado de trabajo de los motores en el momento de una falla, incluso no sabemos si estará conectado o desconectado, las distintas bibliografías proponen variadas hipótesis simplificativas y distintas formas de cálculo. Proponemos la siguiente forma de cálculo que brinda una buena aproximación:

$$X_m = 0,2 \frac{U_n^2}{S_n} [\text{m}\Omega]; \text{ despreciando } R_m; \text{ por lo tanto } Z_m = X_m$$

Para este cálculo debemos tener en cuenta dos cosas:

a.- Se debieran sumar las impedancias de los cables que van desde cada motor hasta el punto de falla. En la planilla de cálculo no se tuvo en cuenta ya que se comprobó que tiene muy poca incidencia en el resultado final, salvo casos especiales.



b.- Una vez obtenida las lcc de aporte de los motores, se suman como un aporte global a la lcc de falla.

Herramientas de Cálculo y Simulación

Descargar la planilla de www.hsingenieria.com.ar --> [Descargas](#)

Iniciar, Habilitar Contenido (si el programa lo solicita). La planilla está libre de virus y es totalmente abierta, es decir que todas las celdas se pueden editar y cambiar. Las celdas amarillas están pensadas para carga de datos sin variar las características de la planilla. Se recomienda leer los comentarios emergentes de algunas celdas.

En las Hojas «Cables» y «Trafos» se cargaron los datos más usuales.

En la Hoja «SimulaFalla» se puede ver una simulación aproximada de la falla. Observe el comportamiento del gráfico si se eliminan todos los cables, asignando a las celdas de longitudes valor cero: Estaríamos ante el caso de cortocircuito en bornes del transformador, la asimetría es importante dada la relación R/X . Si vamos variando el ángulo de disparo α desde 0 a $\pi/2$ vemos un error entre la lcc Presunta y la simulada que llega al 4%. Esto se debe a la imprevisibilidad del momento en que surge la falla respecto a la senoide de tensión y a que las modelizaciones matemáticas del defecto no son exactas. Igualmente, es importante destacar que en un defecto trifásico, siempre hay una fase predispuesta a generar un máximo dentro de ese margen de error.

Si vamos agregando longitudes de cables, la componente resistiva predomina ante la reactiva inductiva y la asimetría de las sinusoides es despreciable.

En el siguiente link se puede simular el comportamiento de la corriente de falla, realizado con GeoGebra:

[Simulador](#)

<http://www.hsingenieria.com.ar/downloads/lcc3.html>