

Cortocircuito en una Línea Eléctrica

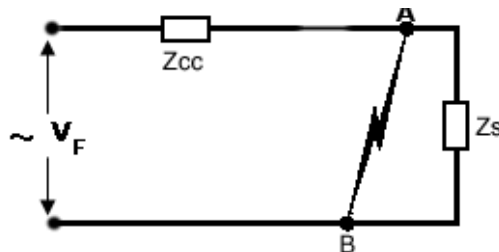
Se produce un cortocircuito en un sistema de potencia, cuando entran en contacto, entre sí o con tierra, conductores correspondientes a distintas fases. Normalmente las corrientes de cortocircuito son muy elevadas, entre 5 y 20 veces el valor máximo de la corriente de carga en el punto de falta.

Los procesos de cortocircuitos son a menudo complejos. Es preciso recurrir a **hipótesis simplificativas**:

- Aunque los cortocircuitos (arcos) poseen impedancias variables, no se les consideran
- Se prescinde de las corrientes de cargas previas.
- Las impedancias de la red se supondrán constantes.
- No se consideran las impedancias transversales de la línea
- La potencia de alimentación se considera infinita

En este caso simplificado, una línea se compone de los siguientes elementos: una fuente de tensión alterna constante V_F y una impedancia Z_{cc} , compuesta por todas las impedancias que hay aguas arriba del cortocircuito (conductores y transformadores) y una impedancia Z_s de la carga

Cuando se produce un defecto de impedancia despreciable entre los puntos A y B, aparece una intensidad de **cortocircuito permanente**, I_{cc} , muy elevada, limitada únicamente por la impedancia Z_{cc}



$$Z_{cc} = R + jX$$

$$I_{cc} = \frac{V_F}{Z_{cc}}$$

Esquema simplificado de una línea eléctrica

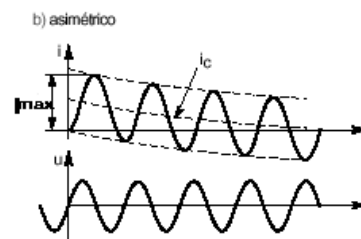
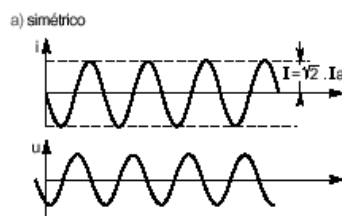
Z_{cc} = impedancia del tramo de fase hasta el punto de falta

Cuando se produce un cortocircuito se origina una **corriente inicial de cortocircuito** cuya amplitud disminuye gradualmente y se llega a un valor que se denomina **corriente permanente cortocircuito**.

Se pueden producir dos casos:

- a) **Corriente de cortocircuito simétrica.** Si el instante de producirse el corto la fem del generador fuese máxima. La intensidad en este caso tiene forma simétrica.
- b) **Corriente de cortocircuito asimétrica.** Si el instante de producirse el corto la fem del generador fuese distinto de su valor máximo. La intensidad, en sus inicios, tiene forma asimétrica, y amplitud mayor que la anterior, pues a la componente alterna se le superpone una componente unidireccional.

La experiencia indica que la amplitud máxima de la corriente de cortocircuito asimétrica tiene como valor medio 1,8 veces la amplitud de la corriente de cortocircuito simétrica

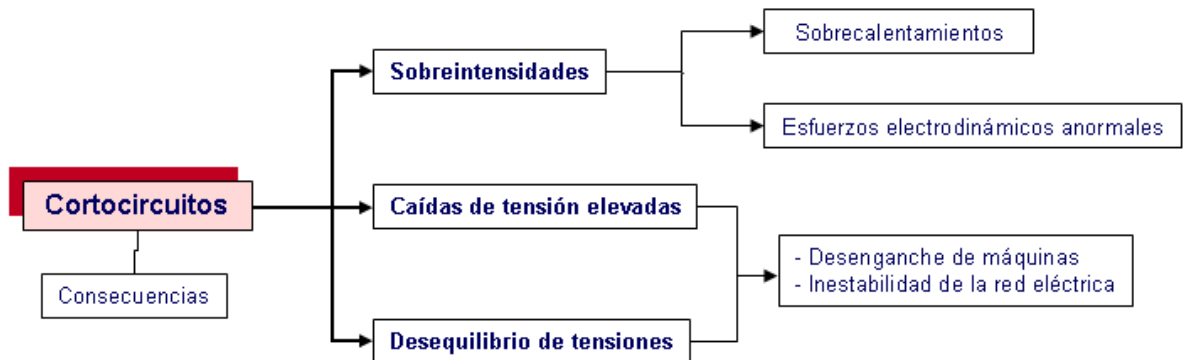


$$I_{max} = 1,8 \sqrt{2} I_{cc}$$

$$I_{max} = 2,55 I_{cc}$$

$$I_{max} = 1,8 \frac{\sqrt{2} V_n}{Z_{cc}}$$

Consecuencias de los Cortocircuitos



Clases de Cortocircuitos

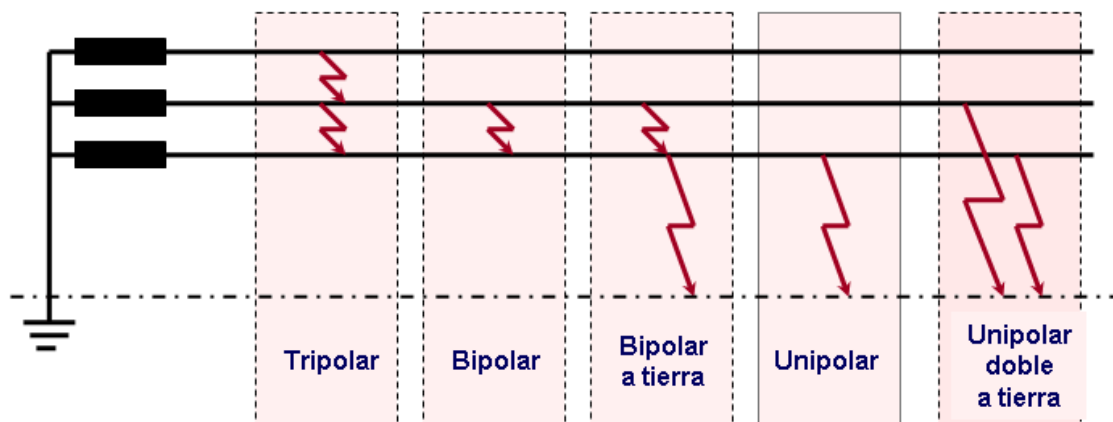
- Cortocircuito trifásico : Se ponen en contacto las tres fases en un mismo punto del sistema. Es el cortocircuito más severo en la mayoría de los casos.
- Cortocircuito bifásico: Entran en contacto dos fases cualquiera del sistema.
- Cortocircuito bifásico a tierra: Entran en contacto dos fases cualquiera y la tierra del sistema.
- Cortocircuito monofásico: Al ponerse en contacto una fase cualquiera con la tierra del sistema. Es el cortocircuito más frecuente.

Se considera normalmente que el defecto trifásico es el que provoca las corrientes más elevadas.

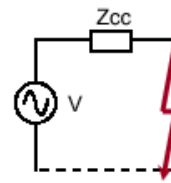
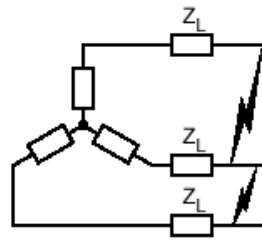
En los **cortocircuitos tripolares**, la corriente de cortocircuito presenta una marcha asimétrica por lo menos en dos de las fases. Para los cálculos, es preciso considerar el **caso más desfavorable** de los posibles, siendo este el caso.

El cálculo de la intensidad de cortocircuito se reduce entonces al cálculo de la impedancia Z_{cc} , impedancia equivalente a todas las impedancias (de la fuente y las líneas) recorridas por I_{cc} desde el generador hasta el punto de defecto

$$Z_{cc} = \Sigma R_i + j \Sigma X_i$$

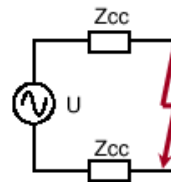
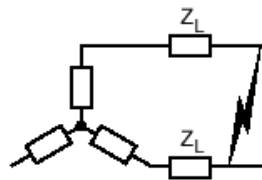


Defecto trifásico



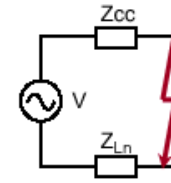
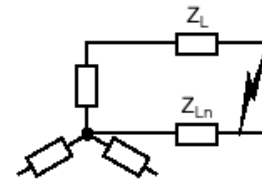
$$I_{cc_3} = \frac{U / \sqrt{3}}{Z_{cc}}$$

Defecto bifásico



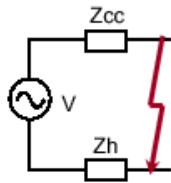
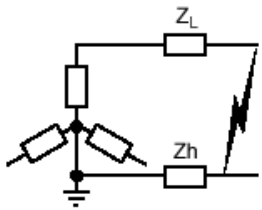
$$I_{cc_2} = \frac{U}{2 \cdot Z_{cc}}$$

Defecto monofásico



$$I_{cc_1} = \frac{U / \sqrt{3}}{Z_{cc} + Z_{LN}}$$

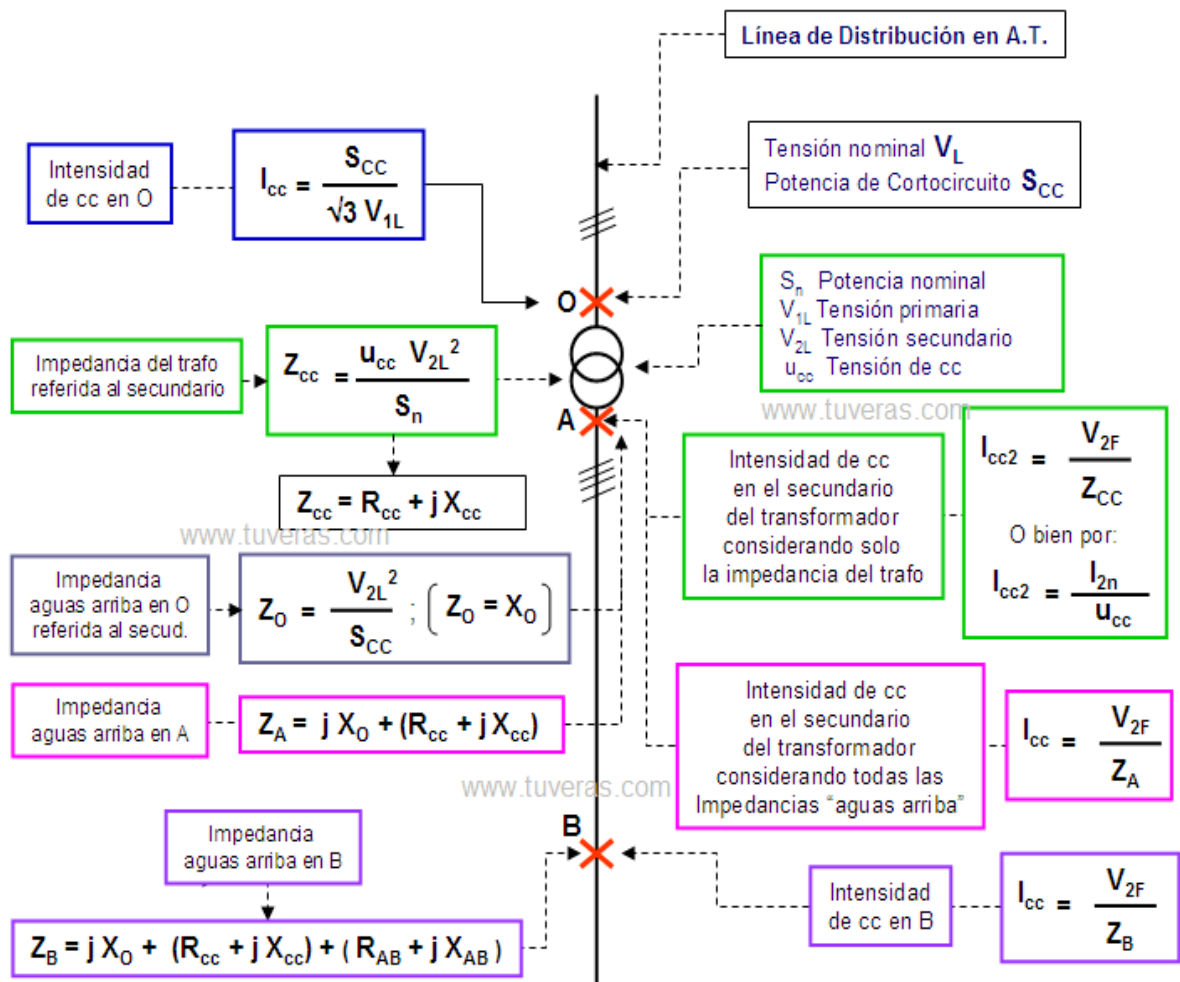
Defecto a tierra



$$I_{cc_h} = \frac{U / \sqrt{3}}{Z_{cc} + Z_h}$$

Etapas para el Cálculo

Se va a realizar un cálculo básico de las corrientes de cortocircuito en una línea eléctrica alejada de los alternadores (el caso más frecuente en B.T.). Se calculará la corriente de cortocircuito que se producen en cada uno de los puntos indicados con una cruz roja **X** en la línea trifásica de la figura adjunta.



Se ha de obtener, además, para cada caso la intensidad de choque:

$$I_{max} = 1,8 \sqrt{2} I_{cc}$$

Es necesario conocer dos valores de corriente de cortocircuito:

1º) **La corriente máxima de cortocircuito** (al principio de la línea), cortocircuito trifásico, que determina:

- El **poder de corte** de los interruptores automáticos
- El **poder de cierre** de la aparamenta,
- La **solicitud electrodinámica** de conductores y aparamenta.

2º) **La corriente mínima de cortocircuito** (al final de la línea), cortocircuito fase neutro, para elegir la **curva de disparo** de los interruptores automáticos y fusibles.

Estos cálculos nos servirán posteriormente para dimensionar los **interruptores automáticos** en cada una de las secciones:

I permanente de cortocircuito $I_{CC} \Rightarrow$ Poder de corte

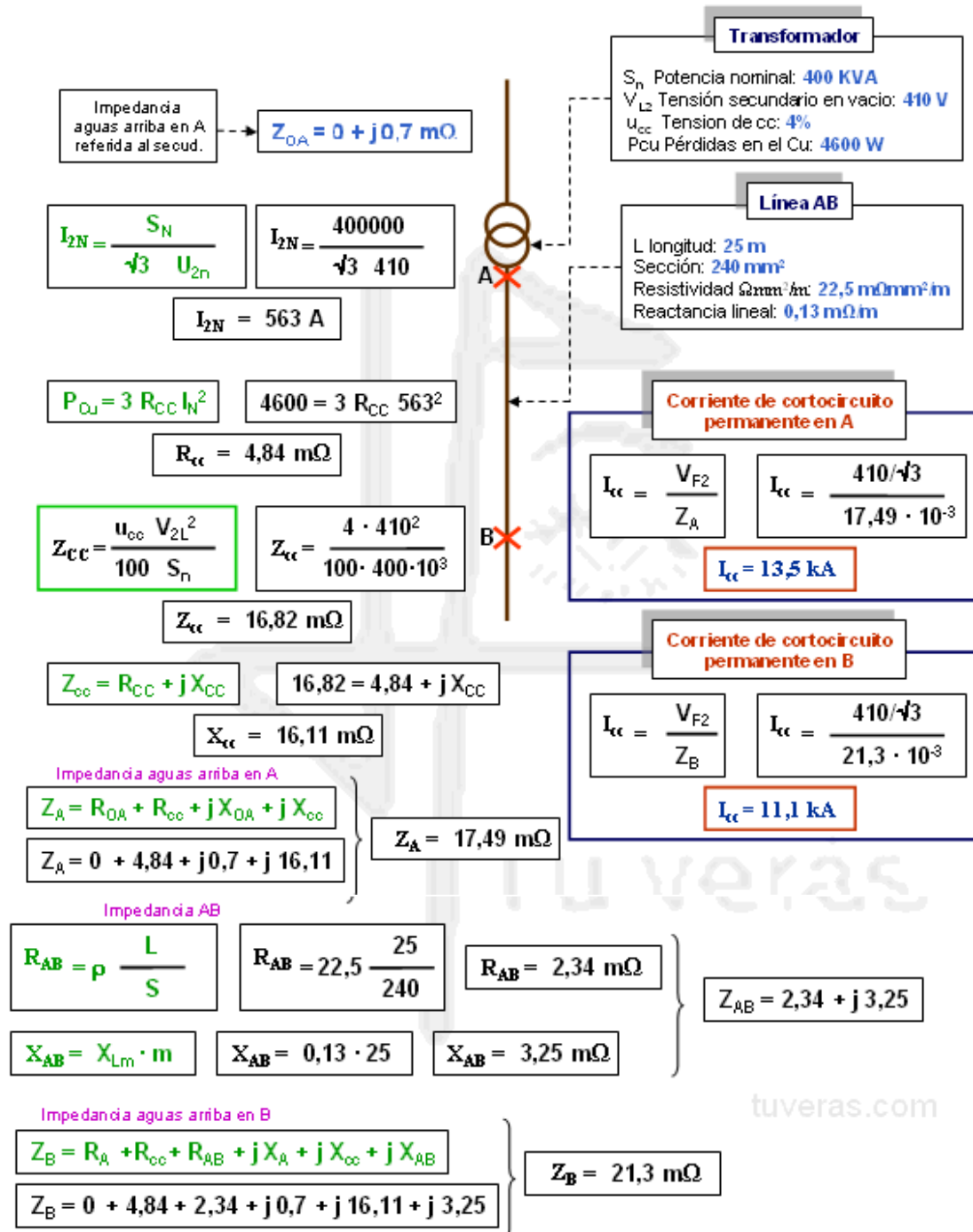
I máxima de cortocircuito $I_{max} \Rightarrow$ Poder de cierre

En todos los casos, cualquiera que sea la corriente de cortocircuito (de mínimo a máximo), la protección debe de eliminar el defecto en un tiempo (t_c) compatible con la solicitud térmica que puede soportar el cable a proteger

Ejemplo 1: Los datos aparecen en el margen de la izquierda

Datos	Solución
Z aguas arriba trafo $R_A = 0$ $X_A = 0,7 \text{ m}\Omega$ Trafo $S_n = 400 \text{ KVA}$ $V_{L1} = 15 \text{ KV}$ $V_{L2} = 410/237$ $U_{cc} = 4\%$ $P_{cu} = 4600 \text{ W}$ Línea Longitud: $L = 25 \text{ m}$ Sección: $s = 240 \text{ mm}^2$ Resistividad: $r = 22,5 \text{ m}\Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$ Reactancia lineal: $0,13 \text{ m}\Omega \text{ m}^{-1}$	Intensidad nominal: $S = \sqrt{3} U_{20} I_N = 400 \text{ kVA} \Rightarrow I_N = \frac{400\,000}{\sqrt{3} \times 410} = 563 \text{ A}$ Pérdida en el Cu y R del Transformador $P_{cu} = 3 \times R_{TR} \times I_N^2 = 4600 \text{ W} \Rightarrow R_{TR} = \frac{4600}{3 \times 563^2} = 4,84 \text{ m}\Omega$ Z del Transformador $Z_{TR} = \frac{U_{CC}}{\sqrt{3} \times I_N} = \frac{4}{100} \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \times I_N} = \frac{4 \times 410}{100 \times \sqrt{3} \times 563} = 16,82 \text{ m}\Omega$ X del Transformador $X_{TR} = \sqrt{Z_{TR}^2 - R_{TR}^2} = \sqrt{16,82^2 - 4,84^2} = 16,11 \text{ m}\Omega$ Impedancia aguas arriba de A $Z_1 = \sqrt{R_{TR}^2 + (X_A + X_{TR})^2} = \sqrt{4,84^2 + (0,7 + 16,11)^2} = 17,49 \text{ m}\Omega$ Intensidad de cortocircuito en A $I_{CC1} = \frac{U_{20}}{Z_1 \times \sqrt{3}} = \frac{410}{17,49 \times \sqrt{3}} = 13,5 \text{ kA}$ R y X del conductor AB $R_C = \rho \cdot \frac{L}{s} = 22,5 \cdot \frac{25}{240} = 2,34 \text{ m}\Omega \quad X_C = 0,13 \times 25 = 3,25 \text{ m}\Omega$ Impedancia aguas arriba de B $Z_2 = \sqrt{(R_{TR} + R_C)^2 + (X_A + X_{TR} + X_C)^2} = \sqrt{(4,84 + 2,34)^2 + (0,7 + 16,11 + 3,25)^2} = 21,3 \text{ m}\Omega$ Intensidad de cortocircuito en B $I_{CC2} = \frac{U_{20}}{Z_2 \times \sqrt{3}} = \frac{410}{21,3 \times \sqrt{3}} = 11,1 \text{ kA}$

Ejemplo 2: Se trata de calcular las corrientes de cortocircuito permanente que se producirán en los puntos señalados con una X, lo que posteriormente nos permitirá dimensionar los interruptores que se han de poner en A y B. Los datos del problema aparecen en letras en azul.



Las protecciones

Todo dispositivo que asegure la protección contra los **cortocircuitos** debe responder a las dos condiciones siguientes:

1º) Su **poder de corte (PdC)** debe ser como mínimo igual a la **corriente de cortocircuito máxima ($I_{CCmáxima}$)**, supuesta en el punto donde está instalado. Se admite un dispositivo que posea un poder de corte inferior, con la condición de que otro aparato protector que tenga el necesario poder de corte sea instalado aguas arriba. En este caso, las características de los dispositivos deben estar coordinadas de tal forma que la energía que dejan pasar los dispositivos no sea superior a la que pueden soportar sin perjuicio, el dispositivo situado aguas abajo y las canalizaciones protegidas por estos dispositivos.

$$PdC > I_{CCmáxima}$$

2º) El tiempo de corte de toda corriente que resulte de un cortocircuito que se produzca en un punto cualquiera del circuito, no debe ser superior al tiempo que tarda en alcanzar la temperatura límite admisible por los conductores. Para los cortocircuitos de una duración (t) como máximo igual a cinco segundos, la duración necesaria para que una corriente de cortocircuito eleve la temperatura de los conductores al límite admisible en servicio normal al valor límite, puede calcularse, en primera aproximación, por la fórmula:

$$\sqrt{t} = k \cdot S / I$$

Siendo:

t = es la duración en segundos.

S = es la sección en mm^2 .

I = es la corriente de cortocircuito efectiva en A, expresada en valor eficaz.

k = cte. para cada tipo de cable (conductor y aislamiento)

Esta condición debe verificarse tanto para la I_{cc} máxima (trifásico), como para la I_{cc} mínima (fase-neutro al final de la línea). También se puede poner en la forma:

$$(I^2 t)_{Línea} \leq (I^2 t)_{Conductor} = K^2 S^2$$

t = es la duración en segundos.

S = es la sección en mm^2 .

I = es la corriente de cortocircuito efectiva en A, expresada en valor eficaz.

k = cte. para cada tipo de cable (conductor y aislamiento)

Para las intensidades de cortocircuito de muy corta duración hay que referirse a las características I^2t facilitadas por el fabricante.

Esta condición 2, se puede transformar, en el caso de instalar un interruptor automático, en la condición siguiente, que resulta más fácil de aplicar y es generalmente más restrictiva:

$$I_{ccmín} > I_m$$

Siendo:

$I_{ccmín}$ = corriente de cortocircuito mínima que se calcula en el extremo del circuito protegida por el interruptor automático.

I_m = corriente mínima que asegura el disparo magnético, por ejemplo, para un IA de uso doméstico y con curva C, se tiene: $I_m = 10 I_n$.

Valor de la constante K según conductor y aislamiento:

	Aislamiento de los conductores							
	PVC 70°C ≤ 300 mm²	PVC 70°C > 300 mm²	PVC 90°C ≤ 300 mm²	PVC 90°C > 300 mm²	PR/EPR	Goma 60 °C	Mineral Con PVC	Mineral Desnudo
Temperatura inicial °C	70	70	90	90	90	60	70	105
Temperatura final °C	160	140	160	140	250	200	160	250
Material del conductor								
Cobre	115	103	100	86	143	141	115 *	135
Aluminio	76	68	66	57	94	93	-	-
Conexiones soldadas con estaño para conductores de cobre	115	-	-	-	-	-	-	-
* Este valor se debe utilizar para cables desnudos expuestos al contacto. NOTA 1 Para duraciones muy cortas (< 0,1 s) donde la asimetría de la intensidad es importante y para dispositivos limitadores de la intensidad, $k^2 S^2$ debe ser superior a la energía ($i^2 t$) que deja pasar el dispositivo de protección, indicada por el fabricante. NOTA 2 Otros valores de k están en estudio para: - los conductores de pequeña sección (especialmente para secciones inferiores a 10mm²); - las duraciones de cortocircuitos superiores a 5s; - otros tipos de conexiones en los conductores; - los conductores desnudos. NOTA 3 La corriente nominal del dispositivo de protección contra los cortocircuitos puede ser superior a la corriente admisible de los conductores del circuito. NOTA 4 Los valores de esta tabla están basados en la norma UNE 211003-1.								

Proteccion en nuestras instalaciones

Para la protección contra sobrecargas **en instalaciones domésticas**, únicamente se utilizan interruptores automáticos.

☞ Para la protección contra sobrecargas **en instalaciones industriales** se puede utilizar tanto relés térmicos o equivalentes asociados con IA, como fusibles, aunque la protección proporcionada por el IA con relé térmico es mas eficiente que la proporcionada por el fusible.

☞ Por razones de seguridad, es posible omitir la protección contra sobrecargas en circuitos en los que una desconexión imprevista puede originar un peligro.

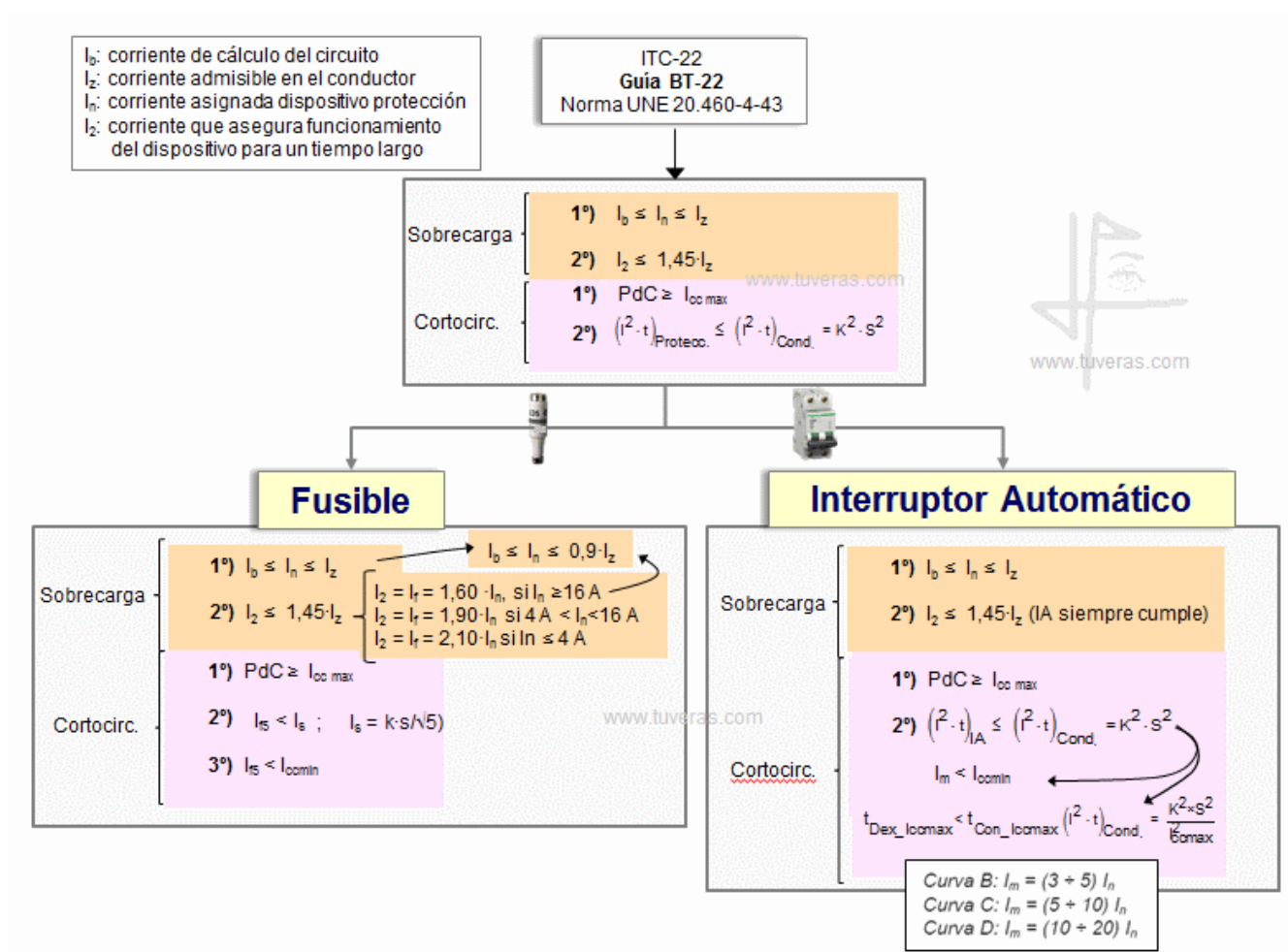
☞ Los dispositivos de protección contra cortocircuitos deben situarse en el punto en el que se produce un cambio, tal como una variación de la sección, naturaleza o sistema de instalación, y se produce una reducción del valor de la corriente admisible de los conductores, salvo

cuando **otro dispositivo situado aguas arriba posea** una característica tal que proteja contra cortocircuitos aguas abajo del cambio.

Los dispositivos de protección contra cortocircuitos podrán situarse aguas abajo del punto donde se produce el cambio de la sección, naturaleza o sistema de instalación, si la parte del cableado situada entre el punto del cambio y el dispositivo de protección cumple las tres condiciones siguientes:

- No excede los 3 m de longitud;
- Está instalado de manera que se minimice el riesgo de cortocircuito (por ejemplo reforzando el sistema de cableado contra las influencias externas).
- Está instalado de manera que se minimice el riesgo de incendio o de peligro para las personas.

Resumen



Ejemplos

-Ver → Cálculo de corrientes de cortocircuito (método ampliado).pdf → Todo el PDF

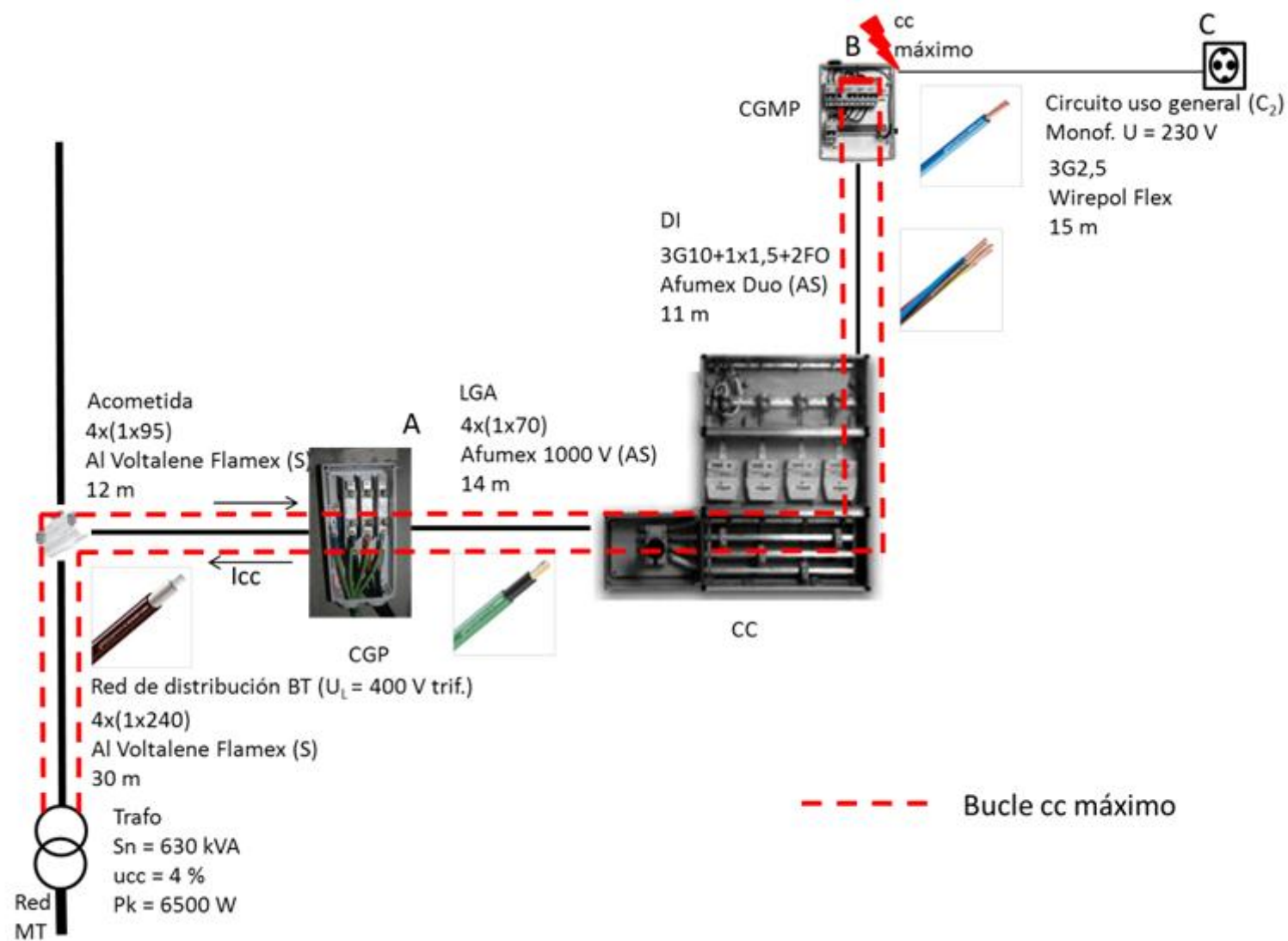
-Ver → Cálculo de protecciones avanzado.pdf → Elección fusible NH de la CGP (pag 63)
Fusible DO para una Der. Ind (pag 70)
Protección motor ascensor (pag 79)
Problema 2 (pag 92) → Muy completo
Problema 3 (pag 119) → NO

Ejemplo de cálculo de sección por el criterio de la intensidad de cortocircuito. Método ampliado

Cortocircuito máximo (en bornes del cuadro general de mando y protección CGMP)

Queremos obtener el valor de cortocircuito máximo de un circuito para usos general (toma de corriente) de una vivienda para comprobar que no se supera el poder de corte del pequeño interruptor automático de 16 A de intensidad nominal que protege en cabecera dentro del cuadro general de mando y protección (CGMP).

Consideremos el siguiente esquema de suministro desde la red de MT hasta el circuito interior de uso general (C2, toma de corriente) de una vivienda.



Se toma el defecto fase-neutro como el más desfavorable y se considera despreciable la reactancia inductiva de los cables. La resistencia de los conductores para el cálculo será a 20 °C (menor que a mayores temperaturas de funcionamiento pues como sabemos todo conductor se calienta por la circulación de la corriente y su resistencia aumenta). De esta forma, al emplear valores mínimos de impedancia en las líneas, siempre nos resultará el cortocircuito más elevado posible.

Comenzamos a calcular impedancias considerando el cortocircuito trifásico en bornes del secundario del transformador para obtener el mayor valor del mismo.

Para poder obtener la reactancia de red será necesario que nos faciliten la potencia aparente de cortocircuito (S_{cc}) en el punto considerado, dato que en ocasiones puede proporcionar la compañía eléctrica.

Suponemos en nuestro caso nos proporcionan un valor de S_{cc} es de 400 MVA (en ausencia de datos se suele tomar el valor de 500 MVA).

$$S_{cc} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_{CCL} = \sqrt{3} \cdot U_f \cdot \sqrt{3} \cdot I_{CCf} = 3 \cdot U_f \cdot I_{CCf} = 3 \cdot \frac{U_f^2}{Z_{red}} = 3 \cdot \left(\frac{U_L}{\sqrt{3}} \right)^2 = \frac{U_L^2}{Z_{red}}$$

Teniendo en cuenta que además podemos despreciar el valor de la resistencia de red frente al valor de la reactancia:

$$Z_{red} = \frac{U_L^2}{S_{cc}} \approx X_{red}$$

$$X_{red} \approx \frac{400^2}{400 \times 10^6} = 4 \times 10^{-4} \Omega$$

Ahora debemos calcular la impedancia del transformador partiendo de los datos de su placa de características:

$S_n = 630 \text{ kVA}$

$u_{cc} = 4 \%$

$P_k = 6500 \text{ W}$ (potencia de cortocircuito)

Calculamos la resistencia del transformador a partir de las pérdidas térmicas por efecto Joule en los arrollamientos obtenidas del ensayo en cortocircuito.

$$P_k = 3 R_{\text{trafo}} \cdot I_n^2 \rightarrow R_{\text{trafo}} = \frac{P_k}{3I_n^2}$$

En se puede obtener con la expresión que la relaciona con la potencia nominal del transformador:

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \rightarrow I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{630000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 909A$$

$$R_{\text{trafo}} = R_{cc} = \frac{P_k}{3I_n^2} = \frac{6500}{3 \times 909^2} = 0,0026\Omega$$

Sabemos que la caída de tensión porcentual de cortocircuito está relacionada con la impedancia del transformador por la siguiente expresión:

$$Z_{cc} = \frac{u_{cc} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} = \frac{4 \times 400^2}{100 \times 630000} = 0,0102\Omega$$

Y aplicando el teorema de Pitágoras obtenemos Xcc:

$$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = \sqrt{0,0102^2 - 0,0026^2} = 0,00986\Omega$$

Nos falta saber ahora los valores del resto del circuito hasta el cuadro general de mando y protección:

$$R_{RD} = \rho_{Al} \cdot L_{RD} / S_{RD} = 0,028 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (30 \times 2 \text{ m} / 240 \text{ mm}^2) = 0,007 \Omega$$

$$R_{Acom} = \rho_{Al} \cdot L_{Acom} / S_{Acom} = 0,028 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (12 \times 2 \text{ m} / 95 \text{ mm}^2) = 0,0071 \Omega$$

$$R_{LGA} = \rho_{Cu} \cdot L_{LGA} / S_{LGA} = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (14 \times 2 \text{ m} / 70 \text{ mm}^2) = 0,0068 \Omega$$

$$R_{DI} = \rho_{Cu} \cdot L_{DI} / S_{DI} = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (11 \times 2 \text{ m} / 10 \text{ mm}^2) = 0,0374 \Omega$$

NOTA: $\rho_{Cu} = 1/58 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ es la resistividad del cobre a 20 °C en corriente continua según UNE 20003. $\rho_{Al} = 1/35,71 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} = 0,028 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ es la resistividad del aluminio a 20 °C en corriente continua según UNE 21096. Además se puede considerar aproximadamente igual el valor a 20 °C en corriente alterna a 50 Hz.

Recopilamos los datos obtenidos en la siguiente tabla:

	Red dist MT	Trafo	Red dist BT	Acometida	LGA	DI	C ₂	Aplicación
R (Ω/km) (20 °C)	---	0,0026	0,007	0,0071	0,0068	0,0374	---	cc máximo
X (Ω/km)	0,0004	0,00986	---	---	---	---	---	

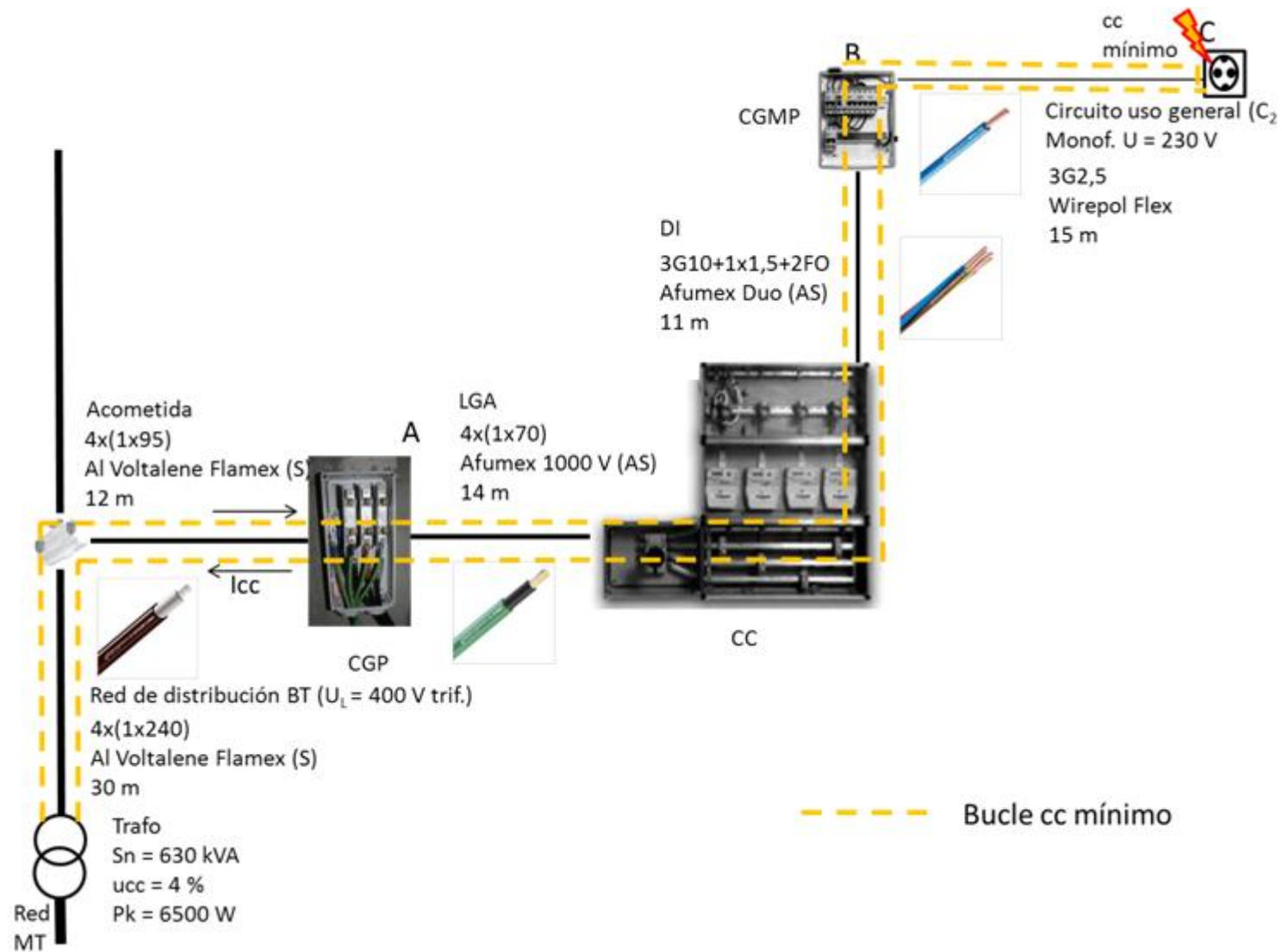
$$I_{cc} = \frac{U_f}{\sqrt{Z_{red} + Z_{cc}}} = \frac{230}{\sqrt{(0,0026 + 0,007 + 0,0071 + 0,0068 + 0,0374)^2 + (0,0004 + 0,00986)^2}} = 3724 \text{ A}$$

En el cálculo de la newsletter anterior que no consideraba el circuito aguas arriba de la CGP nos resultó el valor de 4163 A. Vemos que el cálculo simplificado considerando una caída del 20 % en la tensión de alimentación no fue una suposición errónea que falseara cálculos aminorando el valor del cortocircuito máximo sino que resultó algo superior al cálculo más detallado, que nos ocupa, considerando todas las impedancias del circuito. Nuestra protección puede soportar el poder de corte requerido puesto que el REBT exige un mínimo de 4500 A (ITC-BT 17, pto. 1.3.).

Cortocircuito mínimo

En el final de la instalación tendríamos típicamente un cortocircuito fase-neutro por defecto franco en el receptor (ver bucle de cortocircuito mínimo). Al aumentar el recorrido del cortocircuito se aumenta la impedancia y se reduce el cortocircuito. Como además emplearemos los valores más desfavorables de impedancia (resistencias a máxima temperatura del conductor y reactancias) el resultado de los cálculos será el valor mínimo de cortocircuito que deberá superar el umbral de activación del relé tiempo-independiente del interruptor automático que protege el circuito.

En el esquema del circuito se ha reflejado el bucle del cortocircuito mínimo:



La intensidad de cortocircuito será:

$$I_{cc} = \frac{U_f}{Z_{cc}}$$

Respecto a la fórmula aproximada $0,8 \cdot U_f / \Sigma R$ ahora no necesitamos simplificar tomando $0,8 U_f$ en el numerador pues tomaremos los valores de todas las impedancias implicadas. En el denominador se habla de impedancia de cortocircuito (Z_{cc}) porque se consideran no sólo las resistencias sino también las reactivas de todo el bucle de defecto.

El valor de la impedancia Z_{cc} se obtendrá como suma de las partes resistivas y reactivas de todas las líneas implicadas desde la red de MT hasta el punto de conexión del receptor en la vivienda (toma de corriente de uso general C2):

$$Z_{cc} = \sqrt{(\Sigma R_i)^2 + (\Sigma X_i)^2}$$

Los valores de la resistividad (ρ) del aluminio a 90 °C (cables Al Voltalene Falmex de la red de distribución y acometida) se obtienen aplicando la fórmula de la norma UNE 21096:

$$\rho_{Al(T)} = 1/35,71 \times (1 + 0,00407 \times (T-20)) \text{ (donde T es la temperatura del conductor)}$$

$$R_{RD} = \rho_{Al} \cdot L_{RD} / S_{RD} = 0,036 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (30 \times 2 \text{ m} / 240 \text{ mm}^2) = 0,009 \Omega$$

$$R_{Acom} = \rho_{Al} \cdot L_{Acom} / S_{Acom} = 0,036 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (12 \times 2 \text{ m} / 95 \text{ mm}^2) = 0,0091 \Omega$$

...y para el cobre a 90 °C (cables termoestables como el Afumex 1000 V (AS) de la LGA) y a 70 °C (cables termoplásticos como el Afumex Duo (AS) de la DI o el Wirepol Flex del circuito de uso general) empleamos la fórmula de la UNE 20003.

$\rho_{Cu(T)} = 1/58 \times (1 + 0,00393 \times (T-20))$ (donde T es la temperatura del conductor)

$$R_{LGA} = \rho_{Cu} \cdot L_{LGA} / S_{LGA} = 0,022 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (14 \times 2 \text{ m} / 70 \text{ mm}^2) = 0,0088 \Omega$$

$$R_{DI} = \rho_{Cu} \cdot L_{DI} / S_{DI} = 0,0206 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (11 \times 2 \text{ m} / 10 \text{ mm}^2) = 0,0453 \Omega$$

$$R_{CIA} = \rho_{Cu} \cdot L_{DI} / S_{DI} = 0,0206 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times (15 \times 2 \text{ m} / 2,5 \text{ mm}^2) = 0,2472 \Omega$$

Los valores de reactancia, salvo indicación más precisa, se pueden considerar en torno a 0,08 Ω/km (valor que avala la norma francesa UTE C 15-105 para tendidos independientemente de la sección, naturaleza del conductor y disposición de los conductores).

$$X_{RD} = 0,08 \Omega/\text{km} \times 30 \times 2 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,0048 \Omega$$

$$X_{Acom} = 0,08 \Omega/\text{km} \times 12 \times 2 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,00192 \Omega$$

$$X_{LGA} = 0,08 \Omega/\text{km} \times 14 \times 2 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,00224 \Omega$$

$$X_{DI} = 0,08 \Omega/\text{km} \times 11 \times 2 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,00176 \Omega$$

$$X_{CIA} = 0,08 \Omega/\text{km} \times 15 \times 2 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,0024 \Omega$$

Resumiendo:

	Red dist MT	Trafo	Red dist BT	Acometida	LGA	DI	C ₂	Aplicación
R (Ω/km) (máx T)	---	0,0026	0,009	0,0091	0,0088	0,0453	0,2472	cc mínimo
X (Ω/km)	0,0004	0,00986	0,0048	0,00192	0,00224	0,00176	0,0024	

$$\sum R_i = R_{\text{trafo}} + R_{\text{RD}} + R_{\text{Acom}} + R_{\text{LGA}} + R_{\text{DI}} + R_{\text{CIA}}$$

$$\sum R_i = 0,0026 + 0,009 + 0,0091 + 0,0088 + 0,0453 + 0,2472 = 0,322 \Omega$$

$$\sum X_i = X_{\text{red}} + X_{\text{trafo}} + X_{\text{RD}} + X_{\text{Acom}} + X_{\text{LGA}} + X_{\text{DI}} + X_{\text{CIA}}$$

$$\sum X_i = 0,0004 + 0,00986 + 0,0048 + 0,00192 + 0,00224 + 0,00176 + 0,0024 = 0,02338 \Omega$$

$$Z_{cc} = \sqrt{(\sum R_i)^2 + (\sum X_i)^2} = \sqrt{0,322^2 + 0,02338^2} = 0,3228 \Omega$$

$$I_{cc} = \frac{U_f}{Z_{cc}} = \frac{230}{0,3228} = 713 A$$

Una protección con curva de tipo C necesita una intensidad de cortocircuito superior a 10 veces su intensidad nominal para actuar adecuadamente. Si el circuito C2 para uso general está protegido con un interruptor magnetotérmico de 16 A de intensidad no tendremos problemas.

$$16 A \times 10 = 160 A < 713 A$$

