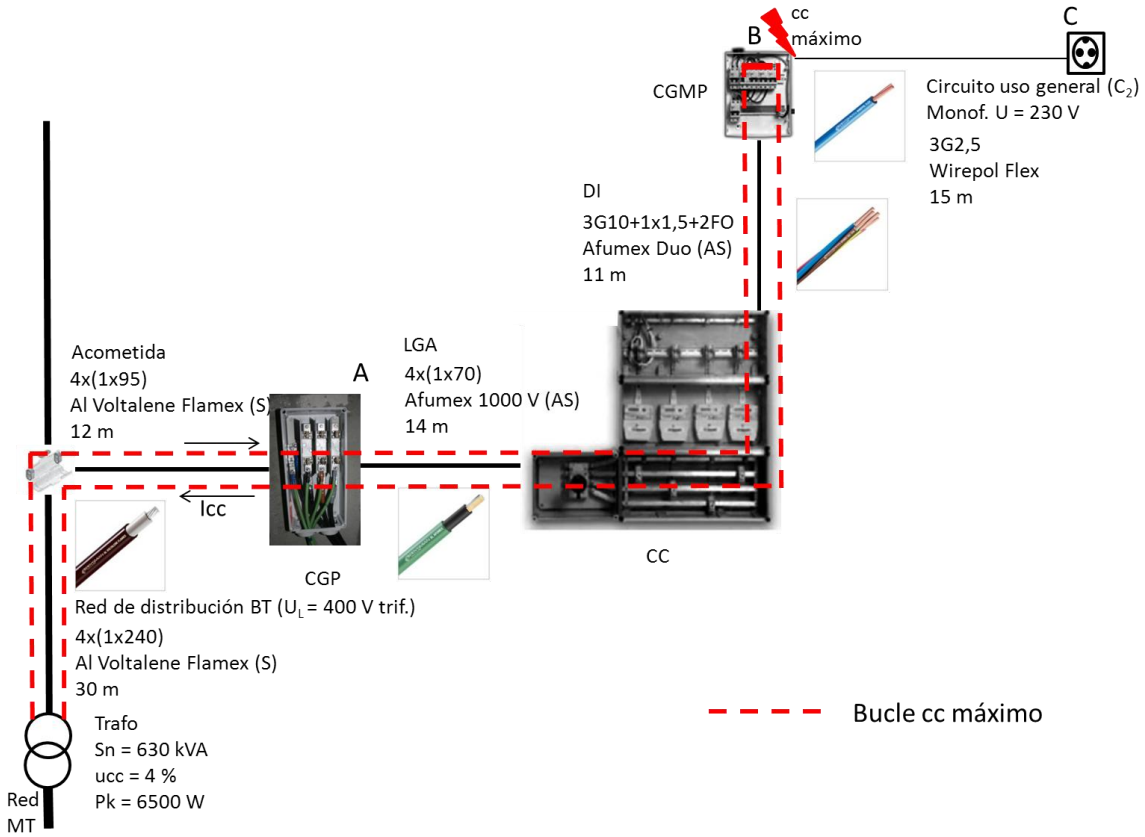
Ejemplo de cálculo de sección por el criterio de la intensidad de cortocircuito. Método ampliado.

Basándonos en el ejemplo de la newsletter anterior ampliaremos el cálculo del cortocircuito hasta considerar todas las impedancias intervinientes en los bucles de defecto.

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 (C_2, 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 ºC (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 al potencia aparente de cortocircuito (Scc) en el punto considerado, dato que en ocasiones puede proporcionar la compañía eléctrica.

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

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

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

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

$$X_{red} \approx \frac{400^2}{400x10^6} = 4x10^{-4}\Omega$$

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

S_n = 630 kVA
u_{cc} = 4 %
P_k = 6500 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.

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

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

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \rightarrow I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{630000}{\sqrt{3}x400} = 909A$$

$$R_{trafo} = R_{cc} = \frac{P_k}{3I_n^2} = \frac{6500}{3x909^2} = 0{,}0026\Omega$$

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

$$Z_{cc} = \frac{u_{cc} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} = \frac{4x400^2}{100x630000} = 0{,}0102\Omega$$

Y aplicando el teorema de Pitágoras obtenemos X_{cc}:

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

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

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

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

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

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

NOTA: ρ_{Cu} = 1/58 $\Omega \cdot mm^2/m$ = 0,017 $\Omega \cdot mm^2/m$ es la resistividad del cobre a 20 ºC en corriente continua según UNE 20003. ρ_{Al} = 1/35,71 $\Omega \cdot mm^2/m$ = 0,028 $\Omega \cdot mm^2/m$ es la resistividad del aluminio a 20 ºC en corriente continua según UNE 21096. Además se puede considerar aproximadamente igual el valor a 20 ºC 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 ºC)	---	0,0026	0,007	0,0071	0,0068	0,0374	---	cc máximo
X (Ω/km)	0,0004	0,00986	---	---	---	---	---	

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

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 resulto algo superior al cálculo más detallado, que nos ocupa, considerando todas las impedancias del circuito.

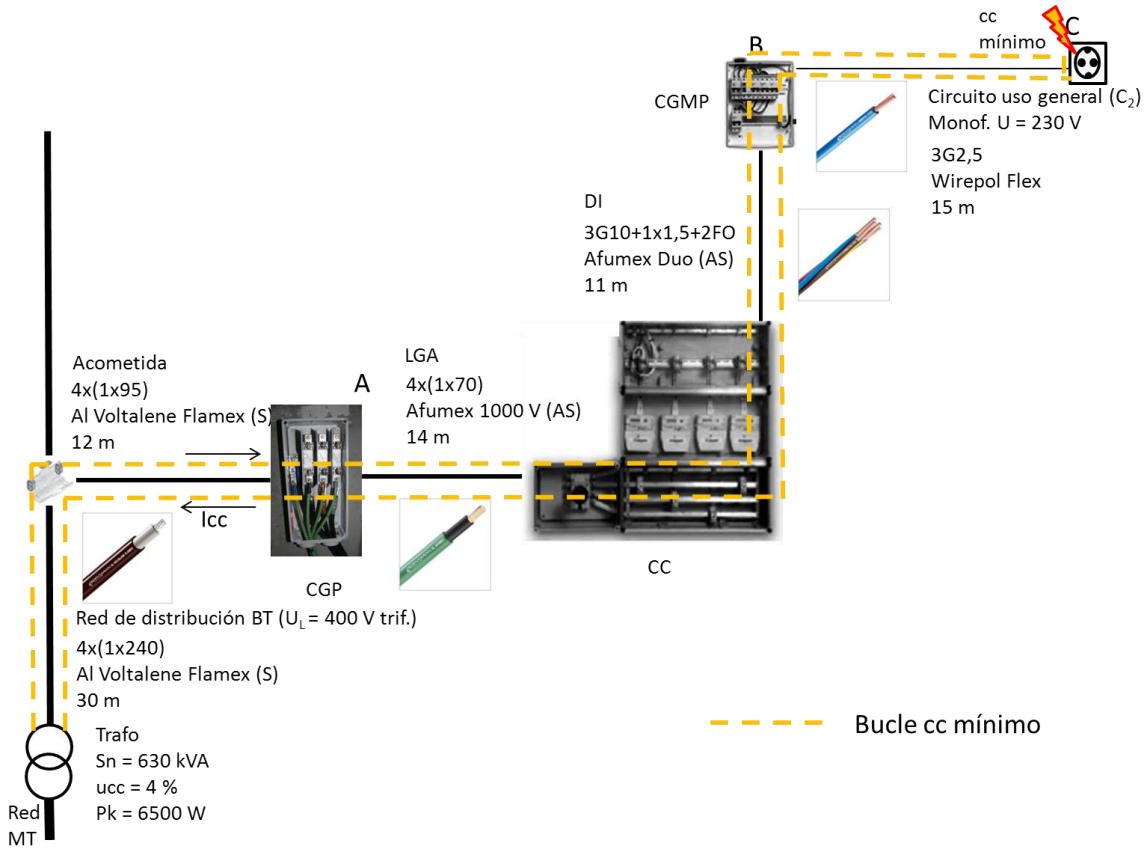
Nuestra protección puede soportar el poder de corte requerido puesto que el REBT exige un mínimo de 4500 A (ITC-BT 17, pto. 1.3.).

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 $0{,}8 \cdot U_f / \sum R$ 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 reactancias 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 conexionado del receptor en la vivienda (toma de corriente de uso general C_2) :

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

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

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

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

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

…y para el cobre a 90 ºC (cables termoestables como el Afumex 1000 V (AS) de la LGA) y a 70 º 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)

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

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

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

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).

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

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

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

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

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

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	

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

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

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

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

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

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

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 C_2 para uso general está protegido con un interruptor magnetotérmico de 16 A de intensidad no tendremos problemas.

16 A x 10 = 160 A < 713 A

Lisardo Recio Maíllo
Product manager
Prysmian Group