Grupo trabajo tutelado nº 7 **Curso 2021-2022**
ALUMNO: DE TULLIO Riccardo
ALUMNO: VALLE Maxime

1. En el plano del polígono, hay que diseñar el centro de transformación CT2 que forma parte del Anillo 1 de MT del polígono mostrado en los planos. El CT2 es un centro de transformación de compañía, que alimenta en baja tensión a las parcelas 5, 6, 7, 8, 9 y 10 indicadas en el plano.

   Determinar:
   a. Previsión de potencia de la red de media tensión que alimenta al CT2. (Dimensionar las necesidades de los centros de transformación del anillo 1)
   b. Utilizando los criterios de intensidad admisible, intensidad de cortocircuito y caída de tensión, determinar para la red de MT, la sección y tipo de conductores a utilizar, de acuerdo con las potencias y distancias indicadas en el plano correspondiente. (NOTA: Solo el anillo correspondiente al CT2).
   c. Condiciones de suministro para cada uno de los centros de transformación de la red propuesta.
   d. Datos básicos del centro de transformación de compañía CT2 que alimenta a las parcelas.
   e. Utilizando los criterios de intensidad admisible, intensidad de cortocircuito y caída de tensión, determinar para las parcelas indicadas: el número de circuitos, la sección y tipo de conductores a utilizar, de acuerdo con las potencias y distancias indicadas.
   f. Condiciones de suministro en cada una de las cajas de seccionamiento y protección CGP que alimentan las naves situadas en las parcelas.
   g. Tipos de las zanjas y arquetas (si son necesarias) utilizadas en el ejercicio. Dimensión de los tubos si son necesarios.
   h. Selección de las CGP en la entrada de cada una de las parcelas.

   NOTAS:
   Caída de tensión máxima 5% en red pública.
   Potencia de cortocircuito en cada una de las dos líneas que salen de la subestación SET para alimentar el centro de seccionamiento, 400 MVA en cada una de las líneas.
   Red 20/0,4 kV.
   Porcentaje útil parcelas uso industrial 90%, y para uso servicios 40%.
   El resto de los centros de transformación del anillo están equipados con 2 transformadores de 1000 kVA.

   Longitudes baja tensión

Tramo	Longitud (m)
CT 2 – 7	10
7 – 6	100
6 – 5	100
CT 2 – 8	10
8 – 9	100
9 – 10	100

   Longitudes Anillo 1

Tramo	Longitud (m)
SET – CT 1	650
CT 1 – CT 2	900
CT 2 – CT 3	725
CT 3 – CT 4	675
CT 4 – CT 5	600
CT 5 – CT 6	600
CT 6 – SET	800

2. Diseñar el centro de transformación anterior, con las siguientes características:
   - Centro de transformación de compañía, ubicado en edificio prefabricado.
   - En alta tensión la instalación tiene neutro aislado. Longitud equivalente de líneas aéreas que parten de la subestación 30 km, y de líneas subterráneas 50 km.
   - Conexión del neutro de baja tensión, rígidamente a tierra, con una resistencia de puesta a tierra máxima de 14 Ω.
   - Tiempo total de actuación de las protecciones 0,7 s.
   - Resistividad del terreno 250 Ω·m. Resistividad del hormigón o suelo del centro de transformación 3000 Ω·m.

   Con esas condiciones:
   a. Esquema unifilar del centro de transformación, con los datos del material seleccionado más importantes (cabinas, elementos de protección, equipos…)
   b. Selección del cuadro o cuadros de baja tensión en el CT. Elección de dispositivos de protección.
   c. Calcular los valores reglamentarios de tensión de paso y contacto.
   d. Determinar los valores de tensión de paso y contacto, utilizando electrodos tipo UNESA, tanto para la resistencia de protección como para la de servicio.
   e. Comprobar los valores reales con los del reglamento, y plantear los ajustes en caso necesario.

3. Diseñar un centro de transformación de abonado, para suministrar la misma potencia que en el apartado anterior, y con el mismo número de transformadores.
   a. Esquema unifilar del centro de transformación, con los datos del material seleccionado más importantes (cabinas, elementos de protección, equipos…)
   b. Selección del cuadro o cuadros de baja tensión en el CT. Elección de dispositivos de protección.

   NOTA: Hay que referenciar los pasos seguidos con la normativa aplicable, y seleccionar toda la aparamenta, equipos, … utilizados en todos los apartados del trabajo, mediante documentación comercial.

Resumen

1.a) Previsión de potencia 4
Potencia del centro de transformación CT2 4
Potencia de la red MT 5
1.b) Conductores MT 6
1.c) Condiciones de suministro 10
1.d) Datos básicos del CT2 13
1.e) Conductores BT 16
1.f) Condiciones de suministro CGP 23
2.a) Esquema unifilar del centro de transformación 28
2.b) cuadros de baja tensión en el CT 28
2.c) tensión de paso y contacto reglamentarios / admisibles 30
2.d-e) tensión de paso y contacto 31
Puesta a Tierra de Protección 31
Puesta a tierra de servicio (conexión del neutro BT a la tierra) 33
3.a) Esquema unifilar del CT abonado 35
3.b) Cuadro BT en el CT abonado 36

1.a) Previsión de potencia

Potencia del centro de transformación CT2

Aspecto normativo / regulatorio

Norma	Uso
REBT ITC-BT 10 **BOA del 27/07/2016, ORDEN EIE/768/2016, de 8 de julio (pres Tema 3, slide 21)**	Superficie parcela (m2) / Potencia prevista mínima (kW) S ≤ 300 / 15 300 < S ≤ 1000 / 15 + 0,05 (S -300) S >1000 / 0,05 S Número de parcelas o locales / Coeficiente de simultaneidad < 4 / 1 ≥ 4 / 0,78

Cálculos
Tomando en consideración el porcentaje de superficie útil de las parcelas de 90 %

Potencia Prevista CT2		
Parcelas	**Superficie (m2)**	**Previsión de potencia (kW)**
5	4482	224,1
6	4482	224,1
7	4482	224,1
8	4482	224,1
9	4482	224,1
10	4482	224,1
TOTAL	/	1344,6

Número de parcelas > 4 => coeficiente de simultaneidad c_s = 0.78
Potencias previstas P_{prev} en CT: $P_{prev} = P_{total} * c_s$
$P_{prev} = 1345 * 0.78 = 1049$ kW

$P_{prev} = 1049$kW

$$S_{prev} = \frac{P_{prev}}{\cos(\varphi)} = \frac{1049}{0.9} = 1165 \text{ kVA}$$

Selección del material

Opción 1: 2 Transformadores de 630 kVA (IMAFEY aceite).
Opción 2: 1 Transformador de 1250 kVA (IMAFEY aceite)

Los transformadores serán puestos en un edificio prefabricado, entonces no elegimos transformadores de más de 1250 kVA. La opción 1 con 2×transformadores de 630 kVA es la más adecuada en nuestro caso. La potencia suministrada por el centro de transformación con 2 transformadores de 630 kVA (1260 kVA) es suficiente si tomamos en cuente el factor de simultaneidad. Sin embargo un riesgo es que la potencia del CT sea menor que la potencia prevista

S_{prev} = 1165 kVA, pero que la potencia que debe suministrar uno de los dos transformadores sea mayor que los 630 kVA de potencia nominal del transformador. Para evitar esta situación instalaremos 2 transformadores de 800 kVA.
Observación: También habríamos podido resolver este problema poniendo 2 transformadores de 630 kVA en paralelo. Pero si el presupesto disponible nos le permite, ponemos 2 transformadores de 800 kVA, de manera a igualmente asegurar un suministrar bastante en caso de que aumente la demanda de energía.

Opción retenida: 2 Transformadores de 800 kVA (IMAFEY aceite).

Potencia de la red MT

Aspecto normativo / regulatorio

Norma	Uso
REBT ITC-BT 10 **BOA del 27/07/2016, ORDEN EIE/768/2016, de 8 de julio (pres Tema 3, slide 21)**	Número de CT alimentados: Coeficiente de simultaneidad 1: 1.0 > 1: 0.8 *Figure 1: coeficiente de simultaneidad en líneas MT*

Cálculos

Nos dicen que en cada de los otros CT hay 2 transformadores de 1000 kV, entonces por cada CT consideraremos una potencia de 2000 kV.

Potencia prevista Red MT	
CT	**Potencia (kVA)**
CT1	2000
CT2	1600
CT3	2000
CT4	2000
CT5	2000
CT6	2000
TOTAL	11600

Número de CT > 1 => coeficiente de simultaneidad C_s = 0.8

$S_{MT} = S_{total} * C_s$

S_{MT} = 11600 * 0.8 = 9280 kVA

1.b) Conductores MT

Red MT

Aspecto normativo / regulatorio

<table>
<tr><th>Norma</th><th>Uso</th></tr>
<tr><td>UNE EN 60909</td><td>$X_{red_Q} = 0.995 Z_{red_Q}$
$R_{red_Q} = 0.1 X_{red_Q}$
<table>
<tr><th rowspan="2">Tensión nominal
U_n</th><th colspan="2">Factor de tensión c para el cálculo de</th></tr>
<tr><th>las corrientes de cortocircuito máximas
$c_{máx}$ 1)</th><th>las corrientes de cortocircuito mínimas
c_{min}</th></tr>
<tr><td>Baja tensión
100 V a 1 000 V
(Tabla 1 de la Norma CEI 60038)</td><td>1,05 3)
1,10 4)</td><td>0,95</td></tr>
<tr><td>Media tensión
> 1 kV a 35 kV
(Tabla 3 de la Norma CEI 60038)</td><td rowspan="2">1,10</td><td rowspan="2">1,00</td></tr>
<tr><td>Alta tensión 2)
> 35 kV
(Tabla 4 de la Norma CEI 60038)</td></tr>
<tr><td colspan="3">1) $c_{máx}U_n$ no debería exceder de la tensión más elevada para el material U_m de los sistemas de potencia.
2) Si no está definida la tensión nominal se debería aplicar: $c_{máx}U_n = U_m$ o $c_{min}U_n = 0,9 \times U_m$.
3) Para sistemas de baja tensión con una tolerancia de +6%, por ejemplo sistemas renombrados de 380 V a 400 V.
4) Para sistemas de baja tensión con una tolerancia de +10%.</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>BOA del 27/07/2016, ORDEN EIE/768/2016, de 8 de julio (pres Tema 3, slide 21)</td><td>- cos(φ) = 0.9</td></tr>
<tr><td>UNE HD 60364-4-43 (curso p.101)</td><td>- Corriente máxima soportable por el cable: $I_{cc} = k\frac{S}{\sqrt{t_c}}$</td></tr>
</table>

- UNE HD 60364-4-43 (curso p.101)

Corriente máxima soportable por el cable: $I_{cc} = k\frac{S}{\sqrt{t_c}}$

Cálculos

Datos: S_{redMT} = 9280 kVA ; U = 20 kV ; $S_{SET,cc}$ = 400 MVA

Corriente de salida de la subestación: $I_{SET} = \frac{S_{redMT}}{\sqrt{3}U} = \frac{9280*10^3}{\sqrt{3}*20*10^3} = 267.9$ A

Potencia de CC: $S_{SET,cc}$ = 400 MVA => $I_{cc} = \frac{S_{SET,cc}}{\sqrt{3}U_{MT}} = \frac{400*10^6}{\sqrt{3}*20*10^3} = \frac{400*10^3}{\sqrt{3}*20} = \frac{20*10^3}{\sqrt{3}} = 11.55$ kA

$I_{cc,max}$ <= c_{max} * I_{cc}
$I_{cc,max}$ <= 1.1 * 11.55 = 12.705 kA

Tenemos la restricción de una caída de tensión Δv maximal de 5% en entrada del CT2.

Selección del material

Elegimos un cable: AL RH5Z1 (catalogo Prysmian p 11/166)

El cable debe respectar:

☐ In soportable por el cable In > 260 A
☐ Icc soportable >12.705 kA
☐ Δv < 5%

1 x SECCIÓN CONDUCTOR (Al) (mm²)	INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE BAJO EL TUBO Y ENTERRADO* (A)	INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE DIRECTAMENTE ENTERRADO* (A)	INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE AL AIRE** (A)	INTENSIDAD MÁXIMA DE CORTOCIRCUITO EN EL CONDUCTOR DURANTE 1 s (A)	INTENSIDAD MÁXIMA DE CORTOCIRCUITO EN LA PANTALLA DURANTE 1 s*** (A)	
	12/20 kV y 18/30 kV	12/20 kV y 18/30 kV	12/20 kV y 18/30 kV	12/20 kV y 18/30 kV	12/20 kV (pant, 16 mm²)	18/30 kV (pant, 25 mm²)
1 x 95 (1)	190	205	255	8930	2240	2690
1 x 150 (2)	245	260	335	14100	2540	2990
1 x 240 (2)	320	345	455	22560	2990	3440
1 x 400 (2)	415	445	610	37600	3440	3890

1 x SECCIÓN CONDUCTOR (Al) (mm²)	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR A T 20 °C) (Ω/km)	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR A T MÁX (90 °C) (Ω/km)	REACTANCIA INDUCTIVA (Ω/km)		CAPACIDAD μF/km	
12/20 kV	12/20 kV y 18/30 kV	12/20 kV y 18/30 kV	12/20 kV	18/30 kV	12/20 kV	18/30 kV
1 x 95/16 (1)	0,320	0,410	0,123	0,132	0,217	0,167
1 x 150/16 (2)	0,206	0,264	0,114	0,123	0,254	0,192
1 x 240/16 (2)	0,125	0,161	0,106	0,114	0,306	0,229
1 x 400/16 (2)	0,078	0,100	0,099	0,106	0,376	0,277

Figure 2:tablas prismian del cable MT

Elegimos un cable con un conductor de alumno, aislamiento XLPE, de sección 240 mm^2,
Así:
☑ In soportable por el cable In > 267.9 A
☐ Icc soportable >12.705 kA
☐ Δv < 5%

Calculo de la corriente de CC soportable, el enunciado nos da el valor de actuación de las protecciones del CC: t_c = 0.7 s.

$I_{cc,max}$ = k$\frac{S}{\sqrt{t_c}}$ = 94*$\frac{240}{\sqrt{0.7}}$ = 26.964 kA

El valor del coeficiente k proviene del guion de cable MT de Prysmian

CRITERIO DE LA SECCIÓN POR INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO

Control de calentamiento en cortocircuito.

Para verificar si la sección elegida es suficiente para soportar la corriente de cortocircuito, conocido el valor esta última (I, en amperios) y su duración (t, en segundos), debe cumplirse la condición:

$$I \cdot \sqrt{t} = K\,S$$

donde: K es un coeficiente que depende de la naturaleza del conductor y de sus temperaturas al principio y al final del cortocircuito.
S es la sección del conductor en mm².

En la hipótesis de que los conductores se hallaran inicialmente a la temperatura máxima de régimen y alcancen al final del cortocircuito la admisible en tal caso, el valor de K para cables Voltalene H (aislamiento de XLPE), es de 143 y 94, según se trate de cables con conductores de cobre o de aluminio y 135 y 85 para cables Eprotenax H Compact (aislamiento de HEPR) y conductores de cobre o aluminio respectivamente. En el supuesto de que las condiciones de servicio permitieran considerar una temperatura de régimen más reducida, aumenta el salto de temperatura y la corriente de cortocircuito admisible sería por lo tanto más elevada.

- Las corrientes máximas de cortocircuito admisibles en los conductores vienen dadas en los gráficos I y II.
- Las corrientes de cortocircuito máximas tolerables en las pantallas se reflejan en las tablas XI y XII (cables Eprotenax H Compact) y tablas X y XI (cables Voltalene H). (Ver ejemplo de cálculo nº4).

Figure 3 : extracto del guion MT de Prysmian

La corriente de CC posible es menor que la corriente soportable por el cable (12.705 kA < 26.964 kA). Entonces el cable elegido (AL RH5Z1 – 240 mm^2)

Así:
☑ In soportable por el cable In > 260 A
☑ Icc soportable >12.705 kA
☐ Δv < 5%

Calculo de la caída de tensión, para facilitar el cálculo consideraremos es peor escenario, es decir, consideremos que la corriente solo circula de un lado del anillo. En nuestro escenario la trayectoria de la corriente es la siguiente:
SET – CT6 – CT5 – CT4 – CT3 – CT2 – CT1

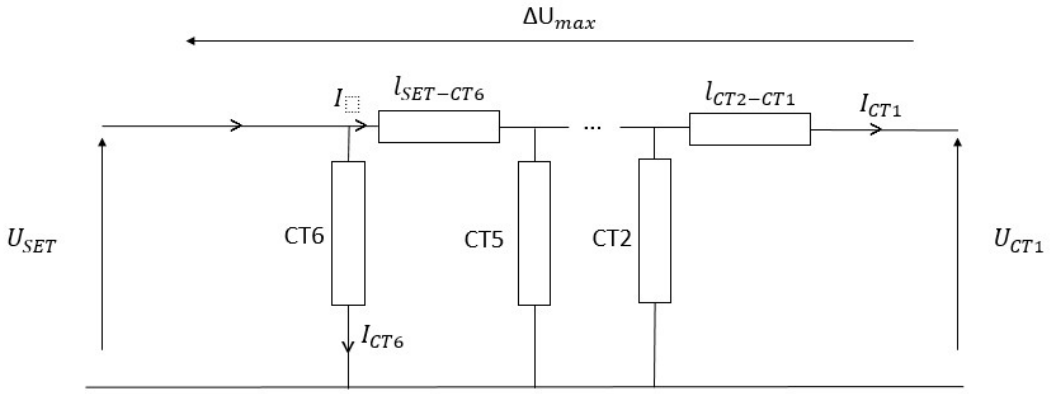


Figure 4: esquema eléctrico

La datasheet del cable elegido nos da R = 0.125 Ω/km y X = 0.106 Ω/km

$\Delta U_k = \sqrt{3}\, I_k$*long*(R*cos(φ)+X*sin(φ))

$\Delta U = \sum \Delta U_k$

$\Delta U = \Delta U_{SET-CT6} + \Delta U_{CT6-CT5} + \Delta U_{CT5-CT4} + \Delta U_{CT4-CT3} + \Delta U_{CT3-CT2} + \Delta U_{CT2-CT1}$

<u>SET-CT6</u>
I_{SET} = 267.9 A
$\Delta U_{SET-CT6} = \sqrt{3} \cdot I_{SET} \cdot l_{SET-CT6} \cdot$(R·cos(φ)+X·sin(φ))

$\Delta U_{SET-CT6} = \sqrt{3} \cdot 267.9 \cdot 0.8 \cdot (0.125 \cdot 0.9 + 0.106 \cdot 0.43)$
$\Delta U_{SET-CT6} = 58.68V$

<u>CT6-CT5</u>
$I_{CT6-CT5} = I_{SET} - I_{CT6}$
$I_{CT6-CT5} = I_{SET} - c_s \frac{S_{CT6}}{\sqrt{3}U} = 267.9 - 0.8 * \frac{2000*10^3}{\sqrt{3}*20000} = 221.71$ A
$\Delta U_{CT6-CT5} = \sqrt{3} \cdot I_{CT6-CT5} \cdot l_{CT6-CT5} \cdot (R \cdot \cos(\varphi) + X \cdot \sin(\varphi))$
$\Delta U_{CT6-CT5} = \sqrt{3} \cdot 221.71 \cdot 0.6 \cdot (0.125 \cdot 0.9 + 0.106 \cdot 0.43)$
$\Delta U_{CT6-CT5} = 36.42$ V

<u>CT5-CT4</u>
$I_{CT5-CT4} = I_{CT6-CT5} - I_{CT5}$
$I_{CT5-CT4} = I_{CT6-CT5} - c_s \frac{S_{CT5}}{\sqrt{3}U} = 221.71 - 0.8 * \frac{2000*10^3}{\sqrt{3}*20000} = 175.52$ A
$\Delta U_{CT5-CT4} = \sqrt{3} \cdot I_{CT5-CT4} \cdot l_{CT5-CT4} \cdot (R \cdot \cos(\varphi) + X \cdot \sin(\varphi))$
$\Delta U_{CT5-CT4} = \sqrt{3} \cdot 175.52 \cdot 0.6 \cdot (0.125 \cdot 0.9 + 0.106 \cdot 0.43)$
$\Delta U_{CT5-CT4} = 28.83$ V

<u>CT4-CT3</u>
$I_{CT4-CT3} = I_{CT5-CT4} - I_{CT4}$
$I_{CT4-C} = I_{CT5-CT4} - c_s \frac{S_{CT4}}{\sqrt{3}U} = 175.52 - 0.8 * \frac{2000*10^3}{\sqrt{3}*20000} = 129.33$ A
$\Delta U_{CT4-CT3} = \sqrt{3} \cdot I_{CT4-CT3} \cdot l_{CT4-CT3} \cdot (R \cdot \cos(\varphi) + X \cdot \sin(\varphi))$
$\Delta U_{CT4-CT3} = \sqrt{3} \cdot 129.33 \cdot 0.675 \cdot (0.125 \cdot 0.9 + 0.106 \cdot 0.43)$
$\Delta U_{CT4-CT3} = 23.9$ V

<u>CT3-CT2</u>
$I_{CT3-CT2} = I_{CT4-CT3} - I_{CT3}$
$I_{CT3-CT2} = I_{CT4-CT3} - c_s \frac{S_{CT3}}{\sqrt{3}U} = 129.33 - 0.8 * \frac{2000*10^3}{\sqrt{3}*20000} = 83.15$ A
$\Delta U_{CT3-CT2} = \sqrt{3} \cdot I_{CT3-CT2} \cdot l_{CT3-C} \cdot (R \cdot \cos(\varphi) + X \cdot \sin(\varphi))$
$\Delta U_{CT3-CT2} = \sqrt{3} \cdot 83.15 \cdot 0.725 \cdot (0.125 \cdot 0.9 + 0.106 \cdot 0.43)$
$\Delta U_{CT3-CT2} = 16.5$ V

<u>CT2-CT1</u>
$I_{CT2-CT1} = I_{CT3-CT2} - I_{CT2}$
$I_{CT2-CT1} = I_{CT3-CT2} - c_s \frac{S_{CT2}}{\sqrt{3}U} = 83.15 - 0.8 * \frac{1600*10^3}{\sqrt{3}*20000} = 46.20$ A
$\Delta U_{CT2-CT1} = \sqrt{3} \cdot I_{CT2-CT1} \cdot l_{CT2-CT1} \cdot (R \cdot \cos(\varphi) + X \cdot \sin(\varphi))$
$\Delta U_{CT2-CT1} = \sqrt{3} \cdot 46.20 \cdot 0.900 \cdot (0.125 \cdot 0.9 + 0.106 \cdot 0.43)$
$\Delta U_{CT2-CT1} = 11.38$ V

*c_s : El coeficiente de simultaneidad utilizado en la parte precedente

$\Delta U = \Delta U_{SET-CT6} + \Delta U_{CT6-CT5} + \Delta U_{CT5-CT4} + \Delta U_{CT4-C} + \Delta U_{CT3-CT2}$
$\Delta U = 58.68V + 36.42 V + 28.83 V + 23.9 V + 16.5 V + 11.38 V = 175.71 V$
$\frac{\Delta U}{U} = \frac{175.71}{20000} = 0.87\ \% < 5\%$

Así:
☑ In soportable por el cable In > 260 A
☑ Icc soportable >12.705 kA
☑ Δv < 5%

➔ El cable AL RH5Z1 – 240 mm^2 es conforme para la red MT

1.c) Condiciones de suministro

Aspecto normativo / regulatorio

Norma	Uso
UNE EN 60909	$X_{red_Q} = 0.995 Z_{red_Q}$ $R_{red_Q} = 0.1 X_{red_Q}$

Tensión nominal U_n	Factor de tensión c para el cálculo de las corrientes de cortocircuito máximas $c_{máx}$ 1)	Factor de tensión c para el cálculo de las corrientes de cortocircuito mínimas c_{min}
Baja tensión 100 V a 1 000 V (Tabla 1 de la Norma CEI 60038)	1,05 3) 1,10 4)	0,95
Media tensión > 1 kV a 35 kV (Tabla 3 de la Norma CEI 60038)	1,10	1,00
Alta tensión 2) > 35 kV (Tabla 4 de la Norma CEI 60038)		

1) $c_{máx} U_n$ no debería exceder de la tensión más elevada para el material U_m de los sistemas de potencia.
2) Si no está definida la tensión nominal se debería aplicar: $c_{máx} U_n = U_m$ o $c_{min} U_n = 0,9 \times U_m$.
3) Para sistemas de baja tensión con una tolerancia de +6%, por ejemplo sistemas renombrados de 380 V a 400 V.
4) Para sistemas de baja tensión con una tolerancia de +10%.

Cálculos

<u>Impedancia de la red</u>

Para obtener la impedancia de la red en salida de la SET Z_Q, calculamos la impedancia de corto-circuito Z_{cc} como tal:

$$Z_Q = Z_{cc} = \frac{U^2}{S_{cc}} = \frac{(20*10^3)^2}{400*10^6} = 1\ \Omega$$ (curso p 122)

$X_Q = 0.995 Z_Q = 0.995\ \Omega$
$R_Q = 0.1 X_Q = 0.0995\ \Omega$

$Z_Q = 0.0995 + j0.995\ \Omega = 1e^{j84.19°}$

Impedancia de línea $Z_{lk} = 0.125 + j0.106\ \Omega/\text{km} = 0.164\ e^{j40.3°}\ \Omega/\text{km}$

<u>CT1</u>

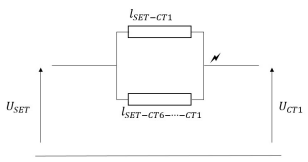


Figure 5 : esquema del circuito en situación de corto-circuito

$Z_{l1} = Z_{SET-CT1} // Z_{SET-CT6-\cdots-CT1} =$

$Z_{l1} = Z_{lk} * l_{SET-CT1} // Z_{lk} * l_{SET-CT6-\cdots-CT1} = Z_{lk} * l_{SET-CT1} // l_{SET-CT6-\cdots-CT1}$

$Z_{l1} = Z_{lk} \frac{l_{SET-CT1} \cdot l_{SET-CT6-\cdots-CT1}}{l_{SET-CT1} + l_{SET-CT6-\cdots-CT1}}$

$Z_{l1} = 0.164\, e^{j40.3°} \frac{0.65*4.3}{0.65+4.3} = 0.093 e^{j40.3°}$

$Z_{eq} = Z_Q + Z_{l1} = 1 e^{j84.19°} + 0.093 e^{j40.3°} = 0.1722 + 1.0550i = 1.069 e^{j80.73°}$

$$I_{cc1} = c \frac{U/\sqrt{3}}{|Z_{eq1}|}$$

Para que el dimensionamiento sea robusto tomamos el coefiente de corto-circuito c máximo:
c = 1.1

$I_{cc1} = 1.1 \frac{20\ kV/\sqrt{3}}{1.069} = 11.882$ kA

Entonces:
f = 50 Hz
U = 20 kV
I_{cc} = 11.882 kA

<u>CT2</u>

$Z_{l2} = Z_{lk} \frac{l_{SET-CT2} \cdot l_{SET-CT6-\cdots-CT2}}{l_{SET-CT2} + l_{SET-CT6-\cdots-CT2}} = 0.164\, e^{j40.3°} \frac{1.55*3.4}{1.55+3.4} = 0.175 e^{j40.3°}$

$Z_{eq2} = Z_Q + Z_{l2} = 1 e^{j84.19°} + 0.175 e^{j40.3°} = 0.2347 + 1.1081i = 1.1326 e^{j78.04°}$

$I_{cc2} = 1.1 \frac{20\ kV/\sqrt{3}}{1.1326} = 11.113$ kA

Entonces:
f = 50 Hz
U = 20 kV
I_{cc} = 11.113 kA

CT3

$Z_{l3} = Z_{lk} \frac{l_{SET-CT3} \cdot l_{SET-CT6-\cdots-CT3}}{l_{SET-CT3} + l_{SET-CT6-\cdots-CT3}} = 0.164\ e^{j40.3°}\ \frac{2.275*2.675}{2.275+2.675} = 0.202e^{j4\ .3°}$

$Z_{eq} = Z_Q + Z_{l3} = 1e^{j84.19°} + 0.202e^{j40.3°} = 0.2553 + 1.1255i = 1.1541e^{j77.22°}$

$I_{cc3} = 1.1 \frac{20\ kV/\sqrt{3}}{1.1541} = 11.005$ kA

Entonces:
f = 50 Hz
U = 20 kV
I_{cc3} = 11.005 kA

CT4

$Z_{l4} = Z_{lk} \frac{l_{SET-C} \cdot l_{SET-CT6-\cdots-CT4}}{l_{SET-CT4} + l_{SET-CT6-\cdots-CT4}} = 0.164\ e^{j40.3°}\ \frac{2*2.95}{2+2.95} = 0.195e^{j40.3°}$

$Z_{eq} = Z_Q + Z_{l4} = 1e^{j84.19°} + 0.195e^{j4\ .3°} = 0.2500 + 1.1210i = 1.1485e^{j77.43°}$

$I_{cc4} = 1.1 \frac{20\ kV/\sqrt{3}}{1.1485} = 11.059$ kA

Entonces:
f = 50 Hz
U = 20 kV
I_{cc} = 11.086 kA

CT5

$Z_{l5} = Z_{lk} \frac{l_{SET-C} \cdot l_{SET-CT6-\cdots-CT5}}{l_{SET-C} + l_{SET-CT6-\cdots-CT5}} = 0.164\ e^{j4\ .3°}\ \frac{3.55*1.4}{3.55+1.4} = 0.165e^{j40.3°}$

$Z_{eq5} = Z_Q + Z_{l5} = 1e^{j84.19°} + 0.165e^{j4\ .3°} = 0.2271 + 1.1016i = 1.1247e^{j78.35°}$

$I_{cc} = 1.1 \frac{20\ kV/\sqrt{3}}{1.1247} = 11.293$ kA

Entonces:
f = 50 Hz
U = 20 kV
I_{cc} = 11.086 kA

CT6

$$Z_{l6} = Z_{lk}\,\frac{l_{SET-C} \quad \cdot l_{SET-CT1-\cdots-CT6}}{l_{SET} \quad +l_{SET-CT1-\cdots-CT6}} = 0.164\ e^{j40.3°}\ \frac{4.15*0.8}{4.15+0.8} = 0.11e^{j40.3°}$$

$$Z_{eq6} = Z_Q + Z_{l6} = 1e^{j84.19°} + 0.11e^{j4\ .3°} = 0.1851 + 1.0660\text{i} = 1.0820e^{j8\ .15°}$$

$$I_{cc6} = 1.1\,\frac{20\ kV/\sqrt{3}}{1.08} = 11.739\ \text{kA}$$

Entonces:
f = 50 Hz
U = 20 kV
I_{cc6} = 11.739 kA

1.d) Datos básicos del CT2

Centro de transformación de compañía:
- CT dentro de un prefabricado
- 2 transformadores de 800 kV
- 2 celdas de línea y 2 celdas de protección de transformador

Aspecto normativo / regulatorio

Norma	Uso
UNE 21122	- selección de los fusibles MT

Tabla selección fusibles ENDESA CT compañía

Tensión Red kV		5	10	11	12	13,2	15,4	16	20	25	30
Aparamenta		9-10	9-10	9-10	9-10	9-10	9-10	9-10	9-10	9-10	9-10
Potencia del Transformador KVA	50	25	10	10	10	10	10	6	6	5	5
	100	40	20	20	20	16	16	16	16	10	8
	160	63	32	32	32	25	20	25	20	16	10
	250	80	50	50	40	40	40	40	32	20	16
	400	100	80	80	63	63	50	50	40	32	25
	630	---	100	100	100	100	80	80	63	50	40
	1000	---	---	---	---	100	100	100	80	63	50

Selección del material

- Elegimos un edificio prefabricado de hormigón pfu5 del fabricante Ormazabal (supongamos que no hay espacio reservado dentro del edificio).

Configuraciones eléctricas tipo

pfu.3	2l+ 1p + 1 transformador + 1cbt
pfu.4	3l + 1v + 1 transformador + 1cbt
pfu.5	2l + 1S + 1p + 1m + 1 tr + 1cbt
	2l + 2p + 2 transformadores + 2cbt
	3l + 2p + 2 transformadores + 2cbt
	3l + 1r + 1p + 1m + 1 tr + 1cbt
	1l + 1v + 1m + 2p + 2 tr + 2cbt
pfu.7	6l + 2p + 2 tr + 2 cbt (24 kv)
	3l + 1r + 1v + 1m + 2p + 2 tr + 2 cbt
	3l + 1r + 1v + 1m + 2p + 1 tr + 1cbt

Nota: Para otras configuraciones, consultar Ormazabal

Donde:
l = Función de Línea
p = Función de Protección con Fusibles
v = Función de Prot. con Int. Autom. de Vacío
s = Función de Interruptor Pasante
r = Función de remonte
m = Función de Medida
cbt = Cuadro de Baja Tensión
tr = Transformador

Figure 6 : selección del prefabricado

- 2 celdas de línea cgmcosmos-l, U = 24 kV, I_n = 630 A (conexión en anillo), I_{cc} = 16 kV

Figure 7 :celda de linea

- 2 celdas de protección de transformador cgmcosmos-p con fusible 50A, U = 24 kV, I_n = 630 A (conexión en anillo), I_{cc} = 16 kV

Figure 8 : celda de protección de transformador

Potencia del transformador Transformer power Puissance du transformateur kVA	Tensión asignada en kV / Rated voltage in kV / Tension assignée kV																	
	6-7.2			10-12			15-17.5			20-24			25-28			30-36		
	Corriente de los transformadores en A / Rated transformer current A / Courant des transformateurs A																	
10	1	0,64	4	0,6	0,64	2	0,38		2	0,3		2						
15	1,5	1,6	6	0,9	0,64	4	0,57		2	0,46		2	0,35		2			
20	2	1,6	6	1,15	0,64	4	0,77	0,64	2	0,57		2	0,46		2	0,4		2
25	2,4	2	8	1,44	0,64	6	0,96	0,64	4	0,72	0,64	4	0,57	0,64	2	0,5		2
50	4,8	4	12,5	2,94	2	10	1,92	1,6	6	1,4	0,64	6	1,15	0,64	4	1	0,64	4
75	7,2	7	16	4,3	4	12,5	2,9	3	8	2,1	2	8	1,73	1,6	6	1,4	0,64	6
100	9,6	7	20	6,8	5	16	3,8	3	10	2,9	2	8	2,3	2	8	1,9	1,6	6
125	12	10	25	7,2	7	16	4,8	4	12,5	3,6	3	10	2,9	2	8	2,4	2	8
160	15,4	10	32	9,2	7	20	6,1	5	16	4,6	4	12,5	3,7	3	10	3,1	2	8
200	19,2	15	40	11,5	10	25	7,7	7	16	5,8	5	16	4,6	4	12,5	3,8	3	10
250	24	20	50	14,4	15	32	9,6	10	20	7,2	7	16	5,7	5	12,5	4,8	4	12,5
315	30	25	63	18,2	15	40	12,1	10	25	9,1	7	20	7,3	7	16	6	5	16
400	38	30	80	23	20	50	15,4	15	32	11,5	10	25	9,2	7	20	7,7	7	20
500	48	40	100	28,9	25	63	19,2	15	40	14,4	10	32	11,5	10	25	9,6	7	20
630	60	50	125	36,4	30	80	24,2	20	50	18,2	15	40	14,5	10	32	12,1	10	25
800	77	70	160	46,2	40	100	30,8	30	63	23	20	50	18,5	15	40	15,4	10	32
1000	96	90	200	57,8	50	125	38,5	30	80	28,9	25	63	23,1	20	50	19,2	15	40
1250				72,7	70	160	48	40	100	36,1	30	80	28,9	25	63	24	20	50
1600							61	60	125	46,2	40	100	37	30	80	30,8	25	63
2000										57,8	50	125	46,2	40	100	38,5	30	80
2500													57,7	50	125	48,1	40	100
	Corriente asignada en los fusibles en A / Rated fused current A / Courant assigné sur les fusibles en A																	
	Corriente asignada en los relés en A / Rated relay current A / Courant assigné sur les relais en A																	

Figure 9 : tabla del fabricante INAEL

Siguiendo la tabla del fabricante INAEL que produce los fusibles, utilizaremos un fusible 50 A.

El fusible dentro de la celda puede ser el IB-D2, 13 kV< U < 24 kV, I< 63 A, H = 442 mm, L = 510 mm, D = 73 mm, peso = 3.9 kg

Tipos Types Type	Tensión asignada Rated voltage Tension assignée kV	Corriente asignada Rated current Courant assigné A	Dimensiones Dimensions Dimensions mm. H	L	ØD	Peso aprox. Approx. weight Poids aprox. Kg
IB-D2	3-3.6	2.5-100	192	260	73	1.2
IB-D1	6-7.2	2.5-63			53	1.1
IB-D2		80-100			73	1.8
IB-D1	10-12	2.5-40	292	360	53	1.6
IB-D2		25-80			73	2.6
IB-D3		80-100			86	3.2
IB-D1	(15-17.5)	2.5-40			53	1.6
IB-D2		25-63			73	2.6
IB-D3		80-100			86	3.2
IB-D1	(15-17.5)	2.5-40	365	433	53	1.9
IB-D2		25-63			73	3.5
IB-D3		80-100			86	3.8
IB-D1	13-24	2.5-40	442	510	53	2.3
IB-D2		25-63			73	3.9
IB-D3		80-100			86	4.4
IB-D3	25-36	2.5-40				4.4
IB-D1	25-36	2.5-25	537	605	53	2.7
IB-D2		20-40			73	4.6
IB-D3		50-80			86	5.6

Figure 10: datos fusibles INAEL

1.e) Conductores BT

- Cable Al con aislamiento 0.6/1 kV
- Uso de cables unipolares
- supongamos que tenemos la elección del método de instalación, pues elegimos una instalación sobre bandejas perforadas (tipo F).

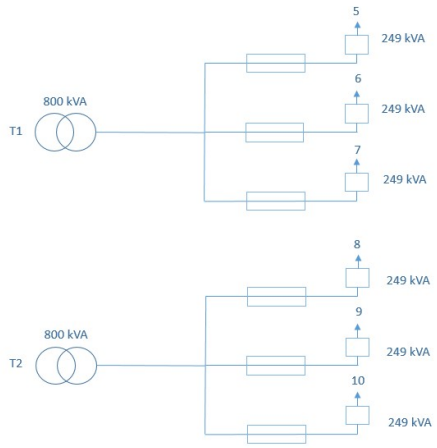
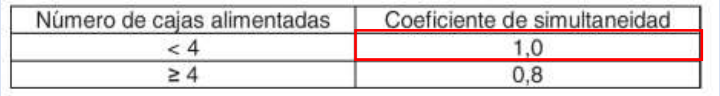
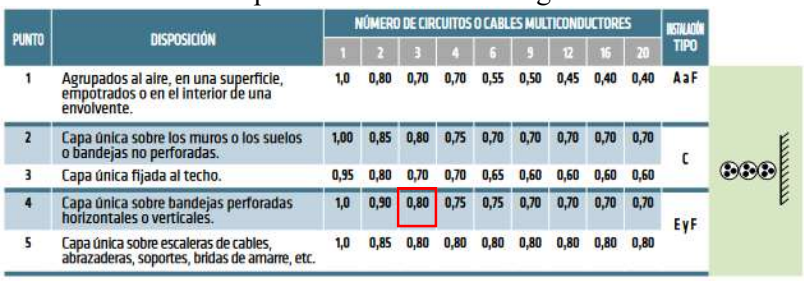


Figure 11 : esquema de repartición de las cargas (parcelas)

Aspecto normativo / regulatorio

Norma	Uso
REBT ITC-BT 10 (BOA del 27/07/2016, ORDEN EIE/768/2016, de 8 de julio)	
UNE-HD 60364-5-52 (tabla c.52.3 guía Prysmian) (Tabla equivalente disponible en REBT ITC 07)	-Factor de agrupación – cable tripolar o ternas de cables unipolares dispuestos de manera contigua. 

Número de cajas alimentadas	Coeficiente de simultaneidad
< 4	1,0
≥ 4	0,8

Figure 12 : coeficiente de simultaneidad en línea BT

PUNTO	DISPOSICIÓN	NÚMERO DE CIRCUITOS O CABLES MULTICONDUCTORES									INSTALACIÓN TIPO
		1	2	3	4	6	9	12	16	20	
1	Agrupados al aire, en una superficie, empotrados o en el interior de una envolvente.	1,0	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40	A a F
2	Capa única sobre los muros o los suelos o bandejas no perforadas.	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	C
3	Capa única fijada al techo.	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60	
4	Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales.	1,0	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	E y F
5	Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, soportes, bridas de amarre, etc.	1,0	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	

Figure 13 : tabla c.52.3 guía Prysmian

UNE EN 60909 (documento UNE IEC_TR 60909-2_2010.pdf)

-f actor de tensión máximo en BT c= 1.05, y factor de tensión por el cálculo de Icc min : c = 0.95

- impedancias asimétricas Transformador (Tabla 2 p11/44)

Tabla 2 – Datos reales de transformadores típicos de dos devanados (NT: red; ST: grupo de generación)

N°	Potencia aparente asignada	Tensión asignada		Tensión de cortocircuito asignada		Grupo de conexión AT BT	Lado de puesta a tierra	$X_{(0)}/X_{(1)}$	Cambiador de tomas			Notas	Comité nacional
	S_{rT}	U_{rTHV}	U_{rTLV}	u_{Rr}	u_{Xr}				$\pm p_T$	u_{Rr}	u_{Xr}		
	MVA	kV	kV	%	%	–		–	%	%	%		
1	0,63	20	0,4	6,0	1,2	Dyn5	LV	≈ 1	± 5	en vacio		NT, 50 Hz, 3 columnas	ex-RDA
2	24	33	11	24,2	1,12	YNyn0	HV, LV	0,7	±10	24,1	25,3	NT, 50 Hz, 3 columnas	Reino Unido
3	31,5	112	22,2	12,8	0,37	YNd5	HV	≈ 1	±18	13,9	10,5	NT, 50 Hz	Alemania
4	80	121	6,3	10,5	–	YNd5	HV	0,71	2 × 2,5	–	—	NT, 50 Hz, 3 columnas	Bulgaria
5[a]	500	400	132	26,1	0,30	YNynd5	HV, LV	≈ 1,6	±13			NT, 50 Hz	Dinamarca
6	20	138	13,2	10,58	0,49	Dyn1	LV	0,93	+2,5 −7,5			ST, 60 Hz, 3 columnas	EEUU
7	25	132	6,3	10,5		YNd11	HV	1,0				ST, 59 Hz, 3 columnas	Hungría
8	180	110	10,5	12,0	0,221	Yd11		0,78	±12			ST, 50 Hz	Austria
9	390	350	23,0	15,92	0,554	YNd1	HV	1,0	+10 − 15	16,7	15,5	ST, 50 Hz, 3 columnas	Australia
10	780	230	21,0	15,3	0,2	YNd5	HV	≈ 0,8	±15	16,7	14,3	ST, 50 Hz	Alemania

[a] Transformador de dos devanados con un devanado auxiliar en triángulo (véase la tabla 3).

- impedancias asimétricas cables de la misma sección (Tabla 11 p28/44)

Tabla 11 – Impedancias de secuencia directa y homopolar de 4 cables unipolares de baja tensión NYY 4 × 1 × q_n ... (caso N° 2a de la tabla 7)

con

$R'_{(0)N}/R'_{(1)N}$, $X'_{(0)N}/X'_{(1)N}$ en caso de corriente de retorno a través del cuarto conductor N y, $R'_{(0)NE}/R'_{(1)N}$, $X'_{(0)NE}/X'_{(1)N}$ en caso de corriente de retorno a través del cuarto conductor N y tierra.

Sección transversal q_n a)	r_L	R'_L	D_a b)	Ecuación (12) $Z'_{(1)N} = R'_{(1)N} + jX'_{(1)N}$	$R'_{(0)N}/R'_{(1)N}$ c)	$X'_{(0)N}/X'_{(1)N}$ c)	$R'_{(0)NE}/R'_{(1)N}$ d)	$X'_{(0)NE}/X'_{(1)N}$ d)	r e)
mm²	mm	Ω/km	mm	Ω/km	–	–	–	–	–
4 × 1 × 10 r	1,78	1,83	12	1,830+j0,143	4	4	1,41	13,02	0,89
4 × 1 × 16 r	2,26	1,15	13	1,150+j0,133	4	4	1,77	11,59	0,79
4 × 1 × 25 rST	3,24	0,727	15	0,727+j0,119	4	4	2,22	9,62	0,66
4 × 1 × 35 rST	3,82	0,524	16	0,524+j0,113	4	4	2,55	7,88	0,55
4 × 1 × 50 rST	4,54	0,382	18	0,387+j0,110	4	4	2,78	6,42	0,45
4 × 1 × 70 rST	5,40	0,268	19	0,268+j0,102	4	4	3,01	5,27	0,34
4 × 1 × 95 rST	6,30	0,193	21	0,193+j0,099	4	4	3,13	4,56	0,27
4 × 1 × 120 rST	7,10	0,153	23	0,153+j0,097	4	4	3,19	4,23	0,23
4 × 1 × 150 rST	7,95	0,124	26	0,124+j0,097	4	4	3,22	4.01	0,21
4 × 1 × 185 rST	8,80	0,0991	28	0,099+j0,096	4	4	3,25	3,87	0,18
4 × 1 × 240 rST	10,05	0,0754	31	0,075+j0,094	4	4	3,28	3,77	0,16
4 × 1 × 300 rST	11,25	0,0601	33	0,060+j0,091	4	4	3,32	3,72	0,15

a) Véase la tabla 6.

b) $D_a = D_{mais}$, diámetro externo del cable unipolar, $d = d_{LN} = \sqrt[4]{2D_a}$.

c) $Z'_{(0)N}$ de acuerdo con la ecuación (13).

d) $Z'_{(0)NE}$ de acuerdo con la ecuación (14).

e) Véase la ecuación (21).

CEI 60364 § 524.2 y § 524.3

- sección del conductor del neutro

En los circuitos trifásicos cuyos los conductores tienen una sección mayor a 16 mm² (Cu) o 25 mm² (Al) el conductor de neutro puede tener la misma sección que el conductor de fase.

UNE HD 60364-4-43 (curso p.101)

- Corriente máxima soportable por el cable: $I_{cc} = k\frac{S}{\sqrt{t_c}}$

Cálculos

Cada cable deberá asegurar la transferencia de una potencia de 249 kVA, con un coeficiente de simultaneidad c_s = 1.

Corriente que atravesará el cable

S = 249 kVA => I = $c_S \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{249 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400}$ = 359.4 A

El cable debe suportar una corriente nominal de más de 359.4 A.

Selección del cable

Elegimos un cable BT del fabricante Prysmian

MÉTODO DE INSTALACIÓN TIPO SEGÚN TABLA 52-B2	TIPO DE AISLAMIENTO TÉRMICO (XLPE o PVC) + NÚMERO DE CONDUCTORES CARGADOS (2 o 3) (TEMPERATURA MÁXIMA DE LOS CONDUCTORES EN RÉGIMEN PERMANENTE ⟶ 70°C TIPO PVC Y 90°C TIPO XLPE)																	
A1		PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)				XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)									
A2	PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)			XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)											
B1				PVC3 (70 °C)		PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)				XLPE2 (90 °C)			
B2			PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)							
C						PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)			XLPE3 (90 °C)			PVC2 (90 °C)		
D1/D2*	VER SIGUIENTE TABLA																	
E								PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)			XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)	
F										PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)		XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)

	mm²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13
Cobre	1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20	21	23	25
	2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	34
	4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	46
	6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	59
	10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	82
	16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	110
	25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146
	35	72	77	86	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182
	50	86	94	103	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220
	70	109	118	130	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282
	95	131	143	156	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343
	120	150	164	179	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397
	150	171	188	196	224	236	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458
	185	194	213	222	256	268	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523
	240	227	249	258	299	315	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617
	300	259	285	295	343	360	398	396	432	414	461	468	516	524	547	549	630	674	713

Figure 14 : tabla cables BT Prysmian

Tendremos 3 cables unipolares por cada fase entonces la intensidad permitida por cada cable disminuye por culpa del calentamiento por agrupamiento. Nos referimos a la tabla tabla c.52.3 disponible en el guía Prysmian). Tendremos 3 circuitos de distribución trifásica en la bandejas, uno por cada parcelas. El agrupamiento disminuye con un factor c = 0.8 la intensidad máxima tolerable para cada cable.

Consideramos 12 cables al máximo, porque hay 4 cables unipolares (R,S,T,N) per parcela a alimentar. Para imaginar el escenario el más desfavorable supongamos que las 3 ternas de cables están puestas en la misma bandeja perforada. En este escenario, las ternas están en contacto y hay un total de 12 cables unipolares.

Deseábamos cables que suportaban 359.4 A, tomando en consideración el factor de agrupamiento c, debemos elegir un cable que suporta en realidad $\frac{359.4}{c} = \frac{359.4}{0.8}$ = 449.25 A

Opción 1: cable Cu, 0.6/1 kV, 185 mm^2 => $I_{max} = 460$ A (justo)

Opción 2: cable Cu, 0.6/1 kV, 240 mm^2 => $I_{max} = 545$ A

=> Cable elegido: AFUMEX CLASS 1000 V (AS) RZ1-K (AS) 240mm^2, fabricante Prysmian.

Verificación del valor de la caída de tensión

NÚMERO DE CONDUCTORES x SECCIÓN mm²	ESPESOR DE AISLAMIENTO mm (1)	DIÁMETRO EXTERIOR mm (1)	PESO kg/km (1)	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR a 20 °C Ω /km	INTENSIDAD ADMISIBLE AL AIRE (2) A	INTENSIDAD ADMISIBLE ENTERRADO (3) A	CAÍDA DE TENSIÓN V/A km (2)	
							cos Φ = 1	cos Φ = 0,8
1 x 1.5	0,7	7	67	13,3	21	21	26,5	21,36
1 x 2,5	0,7	7,5	79	7,98	30	27	15,92	12,88
1 x 4	0,7	8	97	4,95	40	35	9,96	8,1
1 x 6	0,7	8,5	120	3,3	52	44	6,74	5,51
1 x 10	0,7	9,6	167	1,91	72	58	4	3,31
1 x 16	0,7	10,6	226	1,21	97	75	2,51	2,12
1 x 25	0,9	12,3	321	0,78	122	96	1,59	1,37
1 x 35	0,9	13,8	421	0,55	153	117	1,15	1,01
1 x 50	1	15,4	579	0,38	188	138	0,85	0,77
1 x 70	1,1	17,3	780	0,27	243	170	0,59	0,56
1 x 95	1,1	19,2	995	0,20	298	202	0,42	0,43
1 x 120	1,2	21,3	1240	0,16	350	230	0,34	0,36
1 x 150	1,4	23,4	1529	0,12	401	260	0,27	0,31
1 x 185	1,6	25,6	1826	0,10	460	291	0,22	0,26
1 x 240	1,7	28,6	2383	0,08	545	336	0,17	0,22
1 x 300	1,8	31,3	2942	0,06	630	380	0,14	0,19
1 x 400	2	36	3921	0,05		446	0,11	0,17
2 x 1.5	0,7	10	134	13,3	23	24	30,98	24,92
2 x 2,5	0,7	10,9	169	7,98	32	32	18,66	15,07
2 x 4	0,7	11,8	213	4,95	44	42	11,68	9,46
2 x 6	0,7	12,9	271	3,3	57	53	7,90	6,42
2 x 10	0,7	15,2	399	1,91	78	70	4,67	3,84
2 x 16	0,7	17,7	566	1,21	104	91	2,94	2,45
2 x 25	0,9	Consultar	Consultar	0,78	135	116	1,86	1,59
2 x 35	0,9	Consultar	Consultar	0,55	168	140	1,34	1,16
2 x 50	1	Consultar	Consultar	0,38	204	166	0,99	0,88
3 G 1.5	0,7	10,4	150	13,3	23	24	30,98	24,92
3 G 2,5	0,7	11,4	193	7,98	32	32	18,66	15,07
3 G 4	0,7	12,4	250	4,95	44	42	11,68	9,46
3 G 6	0,7	13,6	324	3,3	57	53	7,90	6,42
3 G 10	0,7	16	486	1,91	78	70	4,67	3,84
3 G 16	0,7	18,7	696	1,21	104	91	2,94	2,45
3 x 25	0,9	Consultar	Consultar	0,78	115	96	1,62	1,38
3 x 35	0,9	Consultar	Consultar	0,55	143	117	1,17	1,01
3 x 50	1	Consultar	Consultar	0,38	174	138	0,86	0,77
3 x 70	1,1	Consultar	Consultar	0,27	223	170	0,6	0,56
3 x 95	1,1	Consultar	Consultar	0,20	271	202	0,43	0,42
3 x 120	1,2	Consultar	Consultar	0,16	314	230	0,34	0,35
3 x 150	1,4	Consultar	Consultar	0,12	359	260	0,28	0,3
3 x 185	1,6	Consultar	Consultar	0,10	409	291	0,22	0,26
3 x 240	1,7	Consultar	Consultar	0,08	489	336	0,17	0,21
3 x 300	1,8	Consultar	Consultar	0,06	549	380	0,14	0,18 .../...

Figure 15 : Tabla del fabricante por el cable RZ1-K

Impedancia del cable per unidad de longitud: $Z_{lk} = R + jX$
$Z_{lk} = 0.08 + j0.0902$

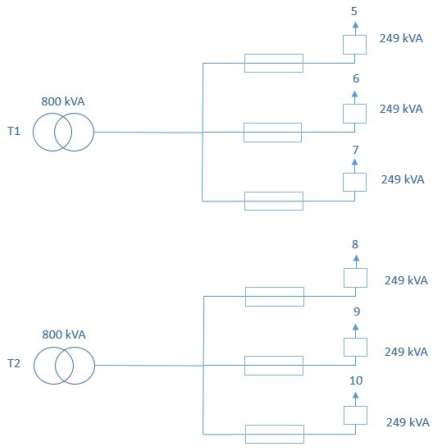


Figure 16 : esquema del circuito de distribución

Todas las parcelas son idénticas, la misma potencia es requerida por cada parcela. La corriente es entonces la misma. Las mayores caídas de tensión son entre el transformador 1 y la parcela 5 o entre el transformador 2 y la parcela 10 porque hay las mayores distancias.

Caída de tensión $\Delta U_{T1-par5}$ del transformador 1 hasta la parcela 5:

Longitud entre el transformador 1 y la parcela 5 $l_{T1-par5}$ = 0.21 km
Intensidad de la línea I = 359.4 A
$\Delta U_{T1-par5} = \sqrt{3}\, I * l_{T1-pa}$ *(R*cos(φ)+X*sin(φ))
$\Delta U_{T1-par5} = \sqrt{3} * 359.4*0.21*(0.08*0.9+0.0902*0.43)$
ΔU_{T1-pa} = 14.48 V
$\frac{\Delta U_{T1-pa}}{U} = \frac{14.48}{400}$ = 3.62 % < 5% correcto.

Verificación con criterio de CC

Impedancia de la red MT
Según la parte (I.c) la impedancia equivalente de la red MT al nivel de CT2 vale $Z_{CT2,MT}$ = $1.1326e^{j7\ .04°}\Omega$
$Z_{CT2,BT} = \frac{Z_{CT2,MT}}{\boldsymbol{\eta^2}}$ con η = $\frac{U1}{U2} = \frac{20000}{400}$ = 50

$Z_{CT2,BT} = \frac{1.1326e^{j78.04°}}{\mathbf{50^2}} = 0.453e^{j78.04°} m\Omega$

Impedancia del transformador
El fabricante IMEFY nos da Ucc = 6% Un y Perdidas en carga Pk = 6 kW
$Z_{tr} = \frac{U_{cc}}{100}\frac{U^2}{S_N} = 0.06*\frac{400^2}{800000}$ = 12 mΩ
$R_{tr} = \frac{U^2}{S^2}P_k = \frac{400^2}{800000^2}6000$ = 1.5 mΩ
$X_{tr} = \sqrt{{Z_{tr}}^2 - {R_{tr}}^2} = \sqrt{12^2 - 1.5^2}$ = 11.9 mΩ

Z_{tr} = 1.5 + j11.9 mΩ
$Z_{tr} = 12e^{j82.82°}$mΩ

Si cortocircuito directamente en salida del transformador
$z_{cc} = Z_{CT2,BT} + Z_{tr} = 12.45e^{j82.64°}$mΩ
Escenario más desfavorable CC trifásico
$I_{cc} = c\frac{U/\sqrt{3}}{|z_{cc}|} = 1.05*\frac{400/\sqrt{3}}{12.45*10^{-3}}$ = 19,777 kA.

Los cables Cu, 240 mm^2 suportan hasta 0.8*545 A = 436 A si tomamos en cuenta el factor de agrupamiento.

En entrada de la línea hay que poner entonces un fusible gG de intensidad nominal I_n = 400 A y con poder de corte I > 19.777 kA.

Tiempo de actuación del fusible (tiempo el más largo ⇔ caso de CC bifásico)

Corriente $I_{cc,II}$ de corto-circuito bifásico

$I_{cc,II} = c\frac{\sqrt{3}U}{|2Z_{(1)} + Z_{(0)}|}$ con $Z_{(1)}$ y $Z_{(0)}$ las impedancia indirecta (= impedancia directa) y la impedancia homopolar respectivamente. c siendo el factor de tensión.

<u>Impedancia de la red BT</u>

$Z_{red,bt(1)} = 0.453e^{j78.04°}m\Omega$ (calculada previamente)

$Z_{red,bt(0)} = 0\ m\Omega$ (neutro conectado a la tierra)

<u>Impedancia del transformador</u>

La norma UNE EN 60909 (Tabla 2) indica que el ratio entre las impedancias es el siguiente:

$\frac{R_{tr(0)}}{R_{tr(1)}} = \frac{X_{tr(0)}}{X_{tr(1)}} = 1$

$Z_{tr\,(1)} = 12e^{j82.82°}m\Omega$ (calculada previamente)

$Z_{tr\,(0)} = Z_{tr\,(1)} = 12e^{j82.82°}m\Omega$ (Tabla 2 UNE EN 60909)

<u>Impedancia del cable</u>

Los 4 cables R,S,T,N de la misma sección (Tabla 7 UNE EN 60909)

La norma UNE EN 60909 (Tabla 11) indica que entonces el ratio entre las impedancias es el siguiente:

$\frac{R_{cond(0)}}{R_{cond(1)}} = \frac{X_{cond(0)}}{X_{cond(1)}} = 4$

$Z_{cond(1)} = long(0.08 + j0.0902)$ (calculada previamente)

$Z_{cond(0)} = long(0.32 + j0.3608)$

La corriente será menor en el punto el más lejano, es decir al nivel de CGP de la parcela 5 por ejemplo (distancia CT2 – CGP parcela 5: 210 m)

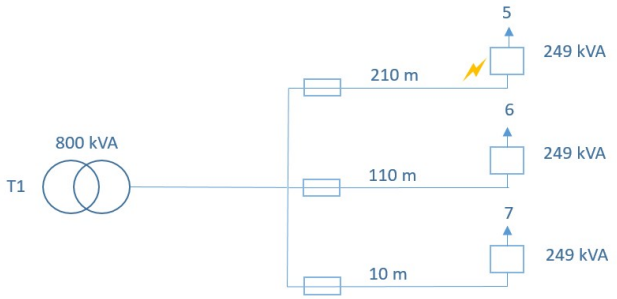


Figure 17 : CC el más débil

Impedancia $Z_{CGP,5}$ al nivel de la CGP de la parcela 5

$$Z_{CGP,5(1)} = 0.453e^{j7\ .04^\circ}m\Omega + 12e^{j82.82^\circ}\text{m}\Omega + 0.21(0.08 + j0.0902)$$
$$Z_{CGP,5(1)} = 0.453e^{j78.04^\circ}m\Omega + 12e^{j82.82^\circ}\text{m}\Omega + 25.3e^{j4\ .43^\circ}\text{m}\Omega = 36.3e^{j60^\circ}\text{m}\Omega$$

$$Z_{CGP,5(0)} = 12e^{j82.82^\circ}\text{m}\Omega + 0.21(0.32 + j0.3608)$$
$$Z_{CGP,5(0)} = 12e^{j82.82^\circ}\text{m}\Omega + 92.2e^{j43.23^\circ}\text{m}\Omega = 111.8e^{j52^\circ}\text{m}\Omega$$

Entonces la corriente de corto-circuito $I_{cc,II,p5}$ el más débil (bifásico, parcela 5)

$$I_{cc,II,p5} = c\frac{\sqrt{3}U}{|2Z_{CGP,5(1)} + Z_{CGP,5(0)}|} = c\frac{\sqrt{3}U}{|2Z_{CGP,5(1)} + Z_{CGP,5(0)}|} = 0.95 * \frac{\sqrt{3}*400}{|2*36.3e^{60^\circ}*10^{-3} + 111.8e^{52^\circ}10^{-3}|}$$

$$I_{cc,II,p5} = 0.95 * \frac{\sqrt{3}*400}{|184.87e^{j55}*10^{-3}|} = 3747.61 \text{ A.}$$

Tiempo para que el fusible gG In = 400 A funda

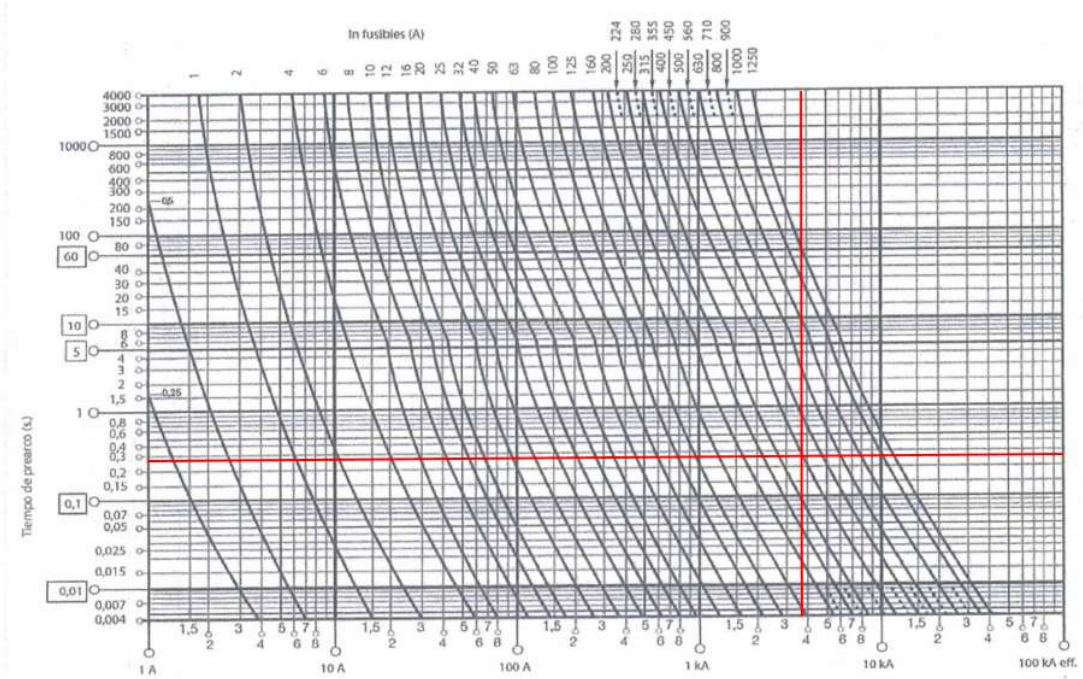


Figure 18: curvas para fusibles gG (en roja la intersección entre un corriente de CC de 3897 A y la curva del fusible In = 400 A)

Según la curva arriba, el tiempo de actuación del fusible de protección el más desfavorable vale t = 0.28s.

Conclusión

Si tomamos en cuenta que:

- la corriente de CC máxima vale Icc = 19.777 kA.
- El mayor tiempo de actuación del fusible vale t = 0.28s
- El conductor BT es en cobre

La sección mínima S_{min} que debe tener el conductor es:

$$I_{cc} = k\frac{S}{\sqrt{t_c}}$$

$$S_{min} = \frac{I_{cc}\sqrt{t_c}}{k_{Cu}} = \frac{19\,777\sqrt{0.28}}{143} = 73.2\ mm^2 < 240\ mm^2$$ ☑ (cable BT que elegimos)

Pues, el cable cable Cu, 0.6/1 kV que elegimos respecta el criterio de corto-circuito, tiene una sección bastante grande para suportar el corto-circuito.

Selección del fusible

Ejemplo de fusible del fabricante SOCOMEC
FUS gG T2 E 400A (poder de corte 120kA)

Figure 19 : fusible gG T2 E 400A

1.f) Condiciones de suministro CGP

Aspecto normativo / regulatorio

Norma	Uso
UNE EN 60909	$X_{red_Q} = 0.995Z_{red_Q}$ $R_{red_Q} = 0.1X_{red_Q}$

Tensión nominal U_n	Factor de tensión c para el cálculo de: las corrientes de cortocircuito máximas $c_{máx}$ 1)	Factor de tensión c para el cálculo de: las corrientes de cortocircuito mínimas c_{min}
Baja tensión 100 V a 1 000 V (Tabla 1 de la Norma CEI 60038)	1,05 3) 1,10 4)	0,95
Media tensión > 1 kV a 35 kV (Tabla 3 de la Norma CEI 60038)	1,10	1,00
Alta tensión 2) > 35 kV (Tabla 4 de la Norma CEI 60038)		

1) $c_{máx}U_n$ no debería exceder de la tensión más elevada para el material U_m de los sistemas de potencia.
2) Si no está definida la tensión nominal se debería aplicar: $c_{máx}U_n = U_m$ o $c_{min}U_n = 0{,}9 \times U_m$.
3) Para sistemas de baja tensión con una tolerancia de +6%, por ejemplo sistemas renombrados de 380 V a 400 V.
4) Para sistemas de baja tensión con una tolerancia de +10%.

Cálculos

En salida del transformador tenemos la impedancia siguiente:
$z_{BT} = Z_{CT2,BT} + Z_{tr} = 12.45e^{82.64°}$mΩ

<u>Parcela 5</u>

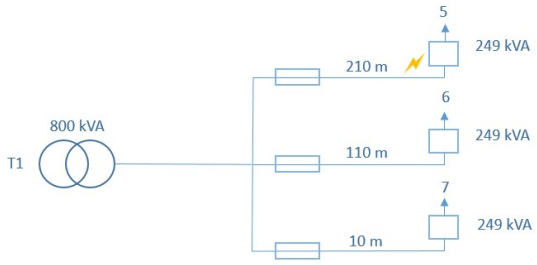


Figure 20 : esquema CC parcela 5

La impedancia Z_{l5} de la línea 5 de longitud $long_5$
$Z_{l5} = long_5$(R+jX) Ω= 0.21 ∗ (0.08+j0.0902) = $25.3e^{j48.43°}$mΩ

La impedancia Z_5 vista en nivel de la caja 5:
$Z_5 = Z_{CT2,BT} + Z_{tr} + Z_{l5} = 12.45e^{82.64°}$mΩ + $25.3e^{48.43°}$mΩ = 36.3 $e^{j59.56°}$mΩ

La corriente de CC I_{cc5} en nivel de la caja 5:

$$I_{cc5} = 1.05\frac{400/\sqrt{3}}{|36.3\ e^{j59.56°} * 10^{-3}|} = 6.68 \text{ kA}$$

Entonces, condiciones de suministro:
U = 400 V
f = 50 Hz
I_{cc5} = 6.68 kA

<u>Parcela 6</u>

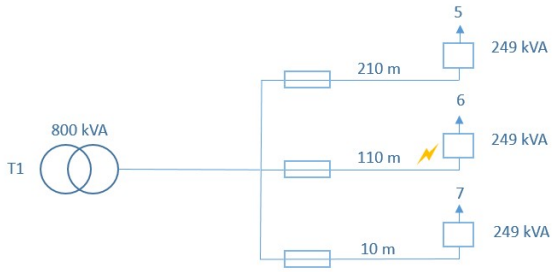


Figure 21 : esquema CC parcela 6

La impedancia Z_{l6} de la línea 6 de longitud $long_6$
Z_{l6} = $long_6$(R+jX) Ω= 0.11 ∗ (0.08+j0.0902) = 13.3$e^{48.43°}$mΩ

La impedancia Z_6 vista en nivel de la caja 6:
Z_6 = $Z_{CT2,BT}$ + Z_{tr} + Z_{l6} = 12.45$e^{82.64°}$mΩ + 13.3$e^{48.43°}$mΩ = 24.58 $e^{j6\ °}$mΩ

La corriente de CC I_{cc6} en nivel de la caja 6:

$$I_{cc6} = 1.05 \frac{400/\sqrt{3}}{|24.58\ e^{j65°} * 10^{-3}|} = 9.865 \text{ kA}$$

Entonces, condiciones de suministro:
U = 400 V
f = 50 Hz
I_{cc6} = 9.865 kA

<u>Parcela 7</u>

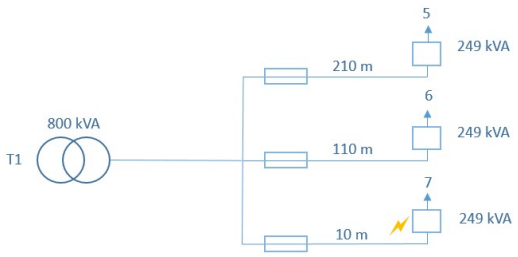


Figure 22 : esquema CC parcela 7

La impedancia Z_{l7} de la línea 7 de longitud $long_7$
Z_{l7} = $long_6$(R+jX) Ω= 0.01 ∗ (0.08+j0.0902) = 1.2$e^{j48.43°}$mΩ

La impedancia Z_7 vista en nivel de la caja 7:
Z_7 = $Z_{CT2,BT}$ + Z_{tr} + Z_{l7} = 12.45$e^{j82.64°}$mΩ + 1.2$e^{j4\ .43°}$mΩ = 13.47 $e^{j79.8°}$mΩ

La corriente de CC I_{cc7} en nivel de la caja 7:

$$I_{cc7} = 1.05 \frac{400/\sqrt{3}}{|13.47\ e^{j79.8°} * 10^{-3}|} = 18.002 \text{ kA}$$

Entonces, condiciones de suministro:
U = 400 V
f = 50 Hz
I_{cc7} = 18.002 kA

Parcela 8

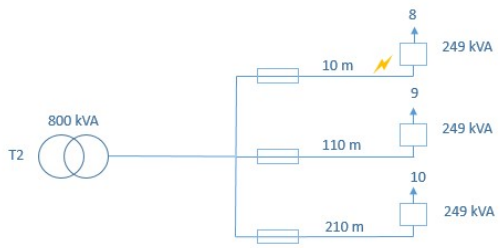


Figure 23 :esquema CC parcela 8

La impedancia Z_{l8} de la línea 8 de longitud $long_8$
Z_{l8} = $long_6$(R+jX) Ω= 0.01 ∗ (0.08+j0.0902) = 1.2$e^{j48.43°}$mΩ

La impedancia Z_8 vista en nivel de la caja 8:
Z_8 = $Z_{CT2,BT}$ + Z_{tr} + Z_{l8} = 12.45$e^{j82.64°}$mΩ + 1.2$e^{j48.43°}$mΩ = 13.47 $e^{j7\ .8°}$mΩ

La corriente de CC I_{cc8} en nivel de la caja 8:

$$I_{cc8} = 1.05\frac{400/\sqrt{3}}{|13.47\ e^{j79.8°}*10^{-3}|} = 18.002 \text{ kA}$$

Entonces, condiciones de suministro:
U = 400 V
f = 50 Hz
I_{cc8} = 18.002 kA

Parcela 9

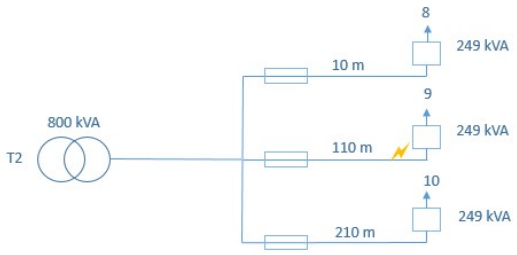


Figure 24 : esquema CC parcela 9

La impedancia Z_{l9} de la línea 9 de longitud $long_9$
Z_{l9} = $long_9$(R+jX) Ω= 0.11 ∗ (0.08+j0.0902) = 13.3$e^{48.43°}$mΩ

La impedancia Z_9 vista en nivel de la caja 9:
Z_9 = $Z_{CT2,BT}$ + Z_{tr} + Z_{l9} = 12.45$e^{82.64°}$mΩ + 13.3$e^{48.43°}$mΩ = 24.58 $e^{j65°}$mΩ

La corriente de CC I_{cc} en nivel de la caja 9:

$I_{cc9} = 1.05 \frac{400/\sqrt{3}}{|24.58\, e^{j65°} * 10^{-3}|}$ = 9.865 kA

Entonces, condiciones de suministro:
U = 400 V
f = 50 Hz
I_{cc9} = 9.865 kA

<u>Parcela 10</u>

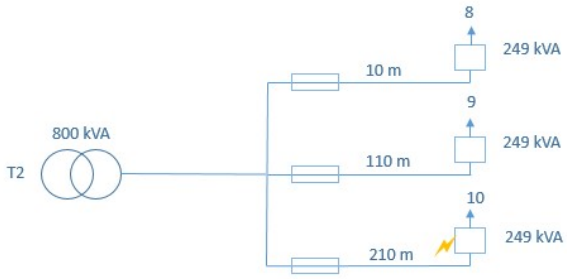


Figure 25 :esquema CC parcela 10

La impedancia Z_{l10} de la línea 10 de longitud $long_{10}$
Z_{l10} = $long_{10}$(R+jX) Ω= 0.21 ∗ (0.08+j0.0902) = 25.3$e^{j4\ .43°}$mΩ

La impedancia Z_{10} vista en nivel de la caja 10:
Z_{10} = $Z_{CT2,BT}$ + Z_{tr} + Z_{l10} = 12.45$e^{82.64°}$mΩ + 25.3$e^{48.43°}$mΩ = 36.3 $e^{j59.56°}$mΩ

La corriente de CC I_{cc10} en nivel de la caja 10:

$I_{cc10} = 1.05 \frac{400/\sqrt{3}}{|36.3\, e^{j59.56°} * 10^{-3}|}$ = 6.68 kA

Entonces, condiciones de suministro:
U = 400 V
f = 50 Hz
I_{cc10} = 6.68 kA

2.a) Esquema unifilar del centro de transformación

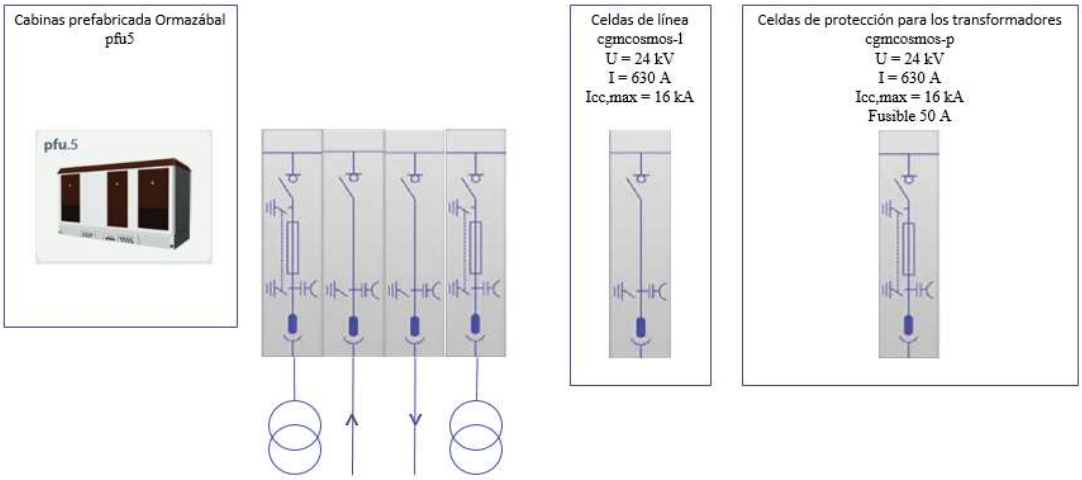


Figure 26 : esquema del CT2

2.b) cuadros de baja tensión en el CT

Selección del material

Elegimos un cuadro BT del fabricante PRONUTEC tipo Abonado / Industrial

Intensidad nominal *Rader current*	Transfor-mador de potencia *Power transfor-mer* (440 V)	Nº máx. de salidas según tipo de interruptor *Max. No. Of outgoings according to main operation*										
		PNT PREMIUM / DOBLE *PNT PREMIUM / INSU-LATED*		POLIÉSTER PNT *PNT POLYESTER*		ENVOLVENTE METÁLICA *METALLIC ENCLOSURE*						
		Interruptor de corte en carga *Load break switch (IC)*	Interruptor automático *Circuit breaker (CM)*	Interruptor de corte en carga *Load break switch (IC)*	Interruptor automáttico *Circuit breaker (CM)*	Interruptor de corte en carga *Load break switch (IC)*				Interruptor automático *Circuit breaker (CM)*		
		1	1	4	1	1	2	4	8	1	4	8
160 A	100 kVA	p.60	p.61									
250 A	160 kVA	p.60	p.61									
400 A	250 kVA	p.60	p.61	p.65								
630 A	400 kVA	p.63	p.61	p.65	p.66			p.71		p.73	p.74	
800 A	500 kVA	p.63			p.66			p.71		p.73	p.74	
1000 A	630 kVA	p.63			p.66			p.71		p.73	p.74	
1250 A	800 kVA	p.63			p.66			p.71		p.73	p.74	
1600 A	1000 kVA				p.66	p.69		p.71		p.73	p.74	
2000 A	1250 kVA					p.81	p.81		p.83	p.80		p.85
2500 A	1600 kVA					p.81	p.81		p.83	p.80		p.85
3200 A	2000 kVA					p.81	p.81		p.83	p.80		p.85

Figure 27 : Tabla dada por el fabricante

Queremos un CBT que suporta una intensidad nominal de 1250 A, además deseamos 3 salidas, entonces buscamos un CBT con 4 salidas.

CBT elegido: Metálica UNESA – Interruptor de corte en carga – 4 salidas.
Descripción del CBT elegido: CBTA U 1250 IC 4P ST 4BC400ILF
Referencia del CBT elegido: 416.43.12.01.23

Este modelo tiene un interruptor de carga con fusible en cada rama.

Acometida / *Incoming*	Superior / *Top*				
Intensidad nominal / *Rated current*	630 A	800 A	1000 A	1250 A	1600 A
Instalación / *Installation*	Interior / *Indoor*				
Envolvente / *Enclosure*	Metálica tipo UNESA *Metallic UNESA type*				
Maniobra general / *Operation*	Interruptor de corte en carga 3F+N / *3P+N load break switch*				
Tipo de salidas / *Outgoing types*	*BTVC TRIVER+				
Nº de salidas / *No. of outgoings*	4				
Opciones / *Options*	- Circuitos auxiliares - Enclavamiento del interruptor por cerradura *- Auxiliary circuits* *- Locking device for switch*				
Nº de cables para la acometida *No. of incoming cables*	4 x 240 mm²				

Figure 28 : características del CBT elegido

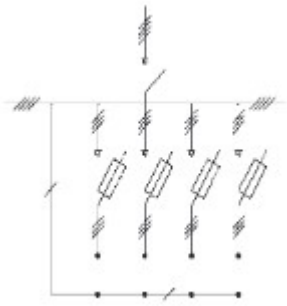


Figure 29 : esquema eléctrico del CBT

2.c) tensión de paso y contacto reglamentarios / admisibles

Aspecto normativo / regulatorio

Norma	Uso
ITC LAT 07, ITC RAT 13	**-** Diseño, la construcción y el mantenimiento de las instalaciones de puesta a tierra. Impedancia del cuerpo humano
UNE IEC/TS 60479-1	**-** Cálculos de tensiones de contacto y de paso

Cálculos

La tensión de contacto U_{ca} aplicable a un cuerpo humano admisible si el tiempo de actuación de las protecciones vale t = 0.7 s:
U_{ca} = 165 V. La tensión de paso aplicable a un cuerpo humano admisible U_{pa} = 10U_{ca} = 1650 V.

<u>La tensión de contacto admisible U_c(considerando resistencias adicionales)</u>

$$U_c = U_{ca}\left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + \frac{R_{a2}}{2}}{Z_b}\right]$$

Con R_{a1} = 2000 Ω la resistencia del zapato, R_{a2} = 3ρ_s la resistencia de la tierra, ρ_s siendo la resistividad superficial del terreno, Z_b = 1000 Ω la impedancia del cuerpo humano

$$U_c = U_{ca}\left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + \frac{3\rho_s}{2}}{Z_b}\right] = 165\left[1 + \frac{\frac{2000}{2} + \frac{750}{2}}{1000}\right] = 391.9 \text{ V}$$

<u>La tensión de paso admisible U_p(considerando resistencias adicionales)</u>

$$U_p = U_{pa}\left[1 + \frac{2R_{a1} + 2R_{a2}}{Z_b}\right] = U_{pa}\left[1 + \frac{2R_{a1} + 2*3\rho_s}{Z_b}\right] = 1650\left[1 + \frac{2*2000 + 2*3*250}{1000}\right] = 10.725 \text{ kV}$$

2.d-e) tensión de paso y contacto

Puesta a Tierra de Protección

Aspecto normativo / regulatorio

<table>
<tr><th>Norma</th><th>Uso</th></tr>
<tr><td>ITC LAT 07, ITC RAT 13</td><td>- Diseño, la construcción y el mantenimiento de las instalaciones de puesta a tierra. Impedancia del cuerpo humano.

- Tensiones de paso y de contacto con la configuración de puesta a tierra
$U'_c = I_D \rho_T K_c$
$U'_p = I_D \rho_T K_p$

<table>
<tr><th>Configuración</th><th>Profundidad (m)</th><th>L_p (m)</th><th>Resistencia k_r</th><th>Tensión de paso k_p</th><th>Tensión de contacto $k_c=k_{p(sec)}$</th></tr>
<tr><td>Sin picas</td><td rowspan="9">0,5</td><td>-</td><td>0,123</td><td>0,0252</td><td>0,0753</td></tr>
<tr><td>4 picas </td><td>2</td><td>0,092</td><td>0,0210</td><td>0,0461</td></tr>
<tr><td></td><td>4</td><td>0,075</td><td>0,0164</td><td>0,0330</td></tr>
<tr><td></td><td>6</td><td>0,064</td><td>0,0134</td><td>0,0254</td></tr>
<tr><td></td><td>8</td><td>0,056</td><td>0,0113</td><td>0,0205</td></tr>
<tr><td>8 picas </td><td>2</td><td>0,082</td><td>0,0181</td><td>0,0371</td></tr>
<tr><td></td><td>4</td><td>0,063</td><td>0,0132</td><td>0,0237</td></tr>
<tr><td></td><td>6</td><td>0,053</td><td>0,0103</td><td>0,0170</td></tr>
<tr><td></td><td>8</td><td>0,045</td><td>0,0084</td><td>0,0131</td></tr>
<tr><td>Sin picas</td><td rowspan="9">0,8</td><td>-</td><td>0,117</td><td>0,0176</td><td>0,0717</td></tr>
<tr><td>4 picas </td><td>2</td><td>0,089</td><td>0,0144</td><td>0,0447</td></tr>
<tr><td></td><td>4</td><td>0,073</td><td>0,0114</td><td>0,0323</td></tr>
<tr><td></td><td>6</td><td>0,062</td><td>0,0094</td><td>0,0250</td></tr>
<tr><td></td><td>8</td><td>0,054</td><td>0,0079</td><td>0,0203</td></tr>
<tr><td>8 picas </td><td>2</td><td>0,079</td><td>0,0130</td><td>0,0359</td></tr>
<tr><td></td><td>4</td><td>0,061</td><td>0,0096</td><td>0,0233</td></tr>
<tr><td></td><td>6</td><td>0,051</td><td>0,0075</td><td>0,0169</td></tr>
<tr><td></td><td>8</td><td>0,044</td><td>0,0062</td><td>0,0131</td></tr>
<tr><td colspan="6">Sección de conductor 50 mm² y diámetro de las picas 14 mm</td></tr>
</table>

- Figure 30 :recomendación UNESA electrodo anillo cuadrado 4.0 m * 4.0 m</td></tr>
<tr><td>UNE IEC/TS 60479-1</td><td>- Cálculos de tensiones de contacto y de paso</td></tr>
<tr><td>RAT ITC 14</td><td>- $U_{aisl,BT}$ = 10 kV</td></tr>
<tr><td>UNE 60909</td><td>- Factor de tension c = 1.1 (max MT)</td></tr>
</table>

Cálculos

<u>Selección del electrodo de puesta a tierra</u>

La norma RAT ITC 14 impone que $U_{aisl,BT} \leq I_{D,max} * R_E$

La corriente de defecto, de fuga

$$I_D = I_E = c\frac{\sqrt{3}\cdot U(\omega\cdot C_a\cdot L_a+\omega\cdot C_c\cdot L_c)}{\sqrt{1+(\omega\cdot C_a\cdot L_a+\omega\cdot C_c\cdot L_c)^2\cdot(3R_T)^2}}$$

Con C_a = 0,006 µF/km y C_c = 0,25 µF/km las capacidades parasitas de las líneas áreas y subterráneas respectivamente. L_a=30 km y L_c = 50 km siendo las longitudes de las líneas áreas y subterráneas respectivamente.

La corriente de fuga max $I_{D,max}$ corresponde a la corriente de defecto cuando la impedancia de los electrodos es nula.

$I_{D,max} = c\sqrt{3} \cdot U(\omega \cdot C_a \cdot L_a + \omega \cdot C_c \cdot L_c)$
$I_{D,max}$ = 1.1*$\sqrt{3}$*20*10^3(2π50*0.25∗ 10^{-6}*50+2π50*0.006∗ 10^{-6}*30)
$I_{D,max}$ = 151.8 A

$U_{aisl,BT} \leq I_{D,max} * R_E$
$R_E \leq \frac{U_{aisl,BT}}{I_{D,max}} = \frac{10000}{151.8}$ = 65.88 Ω
$R_E \geq \rho_T K_r$ con ρ_T = 250Ω.m la resistividad del terreno y K_r un coeficiente que depende del tipo de puesta a tierra.

$K_r \leq \frac{R_E}{\rho_T} = \frac{65.88}{250}$ = 0.263 $\frac{\Omega}{\Omega m}$
$K_r \leq$ 0.263 $\frac{\Omega}{\Omega m}$

Test con la configuración 40-40/5/86 (8 picas)-recomendación UNESA

K_r = 0.053 $\frac{\Omega}{\Omega m}$
Resistividad del electrodo $R_E = \rho_T K_r$ = 250*0.053 = 13.25 Ω

Con este electrodo, la intensidad de defecto valdría

$$I_D = c\frac{\sqrt{3} \cdot U(\omega \cdot C_a \cdot L_a + \omega \cdot C_c \cdot L_c)}{\sqrt{1+(\omega \cdot C_a \cdot L_a + \omega \cdot C_c \cdot L_c)^2 \cdot (3R_T)^2}}$$

$$I_D = \frac{1.1*\sqrt{3}*20*10^3(2\pi 50*0.25*10^{-6}*50+2\pi 50*0.006*10^{-6}*30)}{\sqrt{1+(2\pi 50*0.25*10^{-6}*50+2\pi 50*0.006*10^{-6}*30)^2 \cdot (3*13.25)^2}} = 149.92 \text{ A}$$

Tensiones de paso y de contacto con esta configuración
$U'_c = I_D \rho_T K_c$ = 149.92 ∗ 250 ∗ 0.0170 = 637.2 V ≮ Uc (391.9 V) ☒
$U'_p = I_D \rho_T K_p$ = 149.92 ∗ 250 ∗ 0.0103 = 386 V < Up (10.725 kV) ☑

En las configuraciones de puesta a tierra propuestas no hay un coeficiente K_c que nos conviene, es decir que permite tener una tensión de contacto correcta. Entonces vamos a aumentar la tensión de contacto tolerable mediante une capa de hormigón en el suelo.

Coeficiente reductor C_s de la resistividad del terreno

$$C_s = 1 - 0.106\left[\frac{1-\frac{\rho_T}{\rho_H}}{2h_H+0.106}\right]$$

Con ρ_H la resistividad del hormigón, h_H el espesor de la capa de hormigón, elegimos 0.1m de espesor y ρ_T la resistividad del terreno.

$$C_s = 1 - 0.106\left[\frac{1-\frac{\rho_T}{\rho_H}}{2h_H+0.106}\right] = 1 - 0.106\left[\frac{1-\frac{250}{3000}}{2*0.1+0.106}\right] = 0.682$$

Así cambiamos el valor de ρ_s.

$\rho_s = C_s \cdot \rho_H = 0.682*3000 = 2047\ \Omega.m$

Si calculamos de nuevo las tensiones de contacto U_c y de paso U_p admisibles obtenemos los siguientes valores:

$$U_c = U_{ca}\left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + \frac{3\rho_s}{2}}{Z_b}\right] = 165\left[1 + \frac{\frac{2000}{2} + \frac{3*2047}{2}}{1000}\right] = 836.6\ V$$

$$U_p = U_{pa}\left[1 + \frac{2R_{a1} + 2R_{a2}}{Z_b}\right] = U_{pa}\left[1 + \frac{2R_{a1} + 2*3\rho_s}{Z_b}\right] = 1650\left[1 + \frac{2*2000 \quad 2*3*2047}{1000}\right] = 28.515\ kV$$

Ahora

$U_c' = I_D \rho_T K_c = 149.64 * 250 * 0.0185 = 637.2$ V < Uc (836.6 V) ☑
$U_p' = I_D \rho_T K_p = 149.64 * 250 * 0.0092 = 386$ V < Up (28.515 kV) ☑

Selección del material

-Picas en anillo 4.0m * 4.0m, profundidad = 0.5 m, 8picas de 6m (recomendación UNESA)
Código: 40-40/5/86

Puesta a tierra de servicio (conexión del neutro BT a la tierra)

Aspecto normativo / regulatorio

Norma	Uso
ITC LAT 07, ITC RAT 13	- Diseño, la construcción y el mantenimiento de las instalaciones de puesta a tierra. Impedancia del cuerpo humano. - $U_{ais} = 1200\ V$: tensión de aislamiento - datos de configuración de puesta a tierra

Picas en hilera unidas por un conductor horizontal

Separación entre picas 3 m. ; Longitud de las picas 2 m.

Sección del conductor = 50 mm².
Diámetro de las picas = 14 mm.

Profundidad	Número de picas	Resistencia K_r	Tensión de paso K_p	Código
0,5 m	2	0,2010	0,03920	5/22
	3	0,1350	0,02520	5/32
	4	0,1040	0,01840	5/42
	6	0,0730	0,01200	5/62
	8	0,0572	0,00345	5/82
0,8 m	2	0,1940	0,02530	8/22
	3	0,1300	0,01700	8/32
	4	0,1000	0,01270	8/42
	6	0,0707	0,00833	8/62
	8	0,0556	0,00255	8/82

Figure 31 :recomendación UNESA picas en hilera

RAT ITC 14	$U_{aisl,BT}$ = 10 kV
UNE 60909	Factor de tension c = 1.1 (max MT)

Cálculos

Distancia D a poner entre la conexión a tierra de la protección y de servicio:

D > $\frac{I_D \rho_T}{2\pi U_{ais}}$

D > $\frac{149.92*250}{2\pi 12}$ = 4.97 m

El enunciado nos da que la resistencia R_E de la conexión del neutro a la tierra debe respetar la condición siguiente $R_E \leq 14\ \Omega$

La resistividad de conexión de servicio se exprima como $R_E = \rho_T K_r$

$K_r \leq \frac{R_E}{\rho_T} = \frac{14}{250} = 0.056\ \frac{\Omega m}{m}$

Selección del material

Picas en hilera (recomendación UNESA)
Código: 8/82

Con esta configuración $R_E = \rho_T K_r$ = 250 * 0.0556 = 13.9 Ω < 14 Ω ☑

3.a) Esquema unifilar del CT abonado

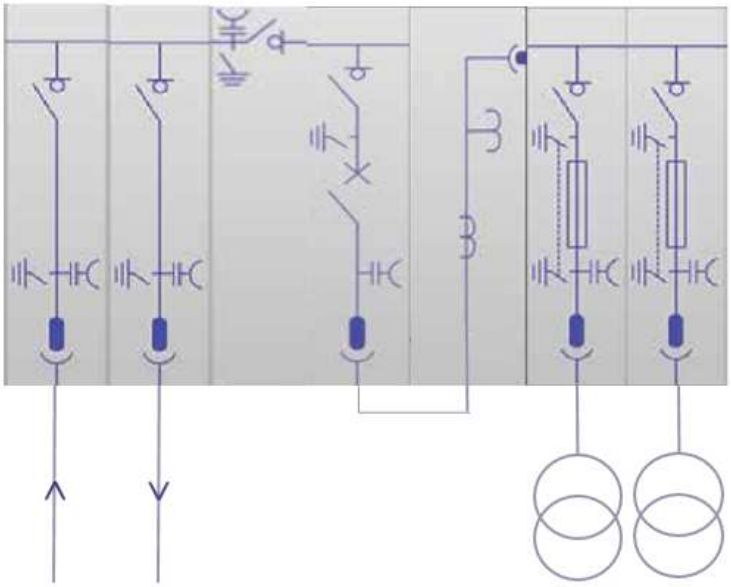


Figure 32 : esquema eléctrico del CT abonado

Selección del material

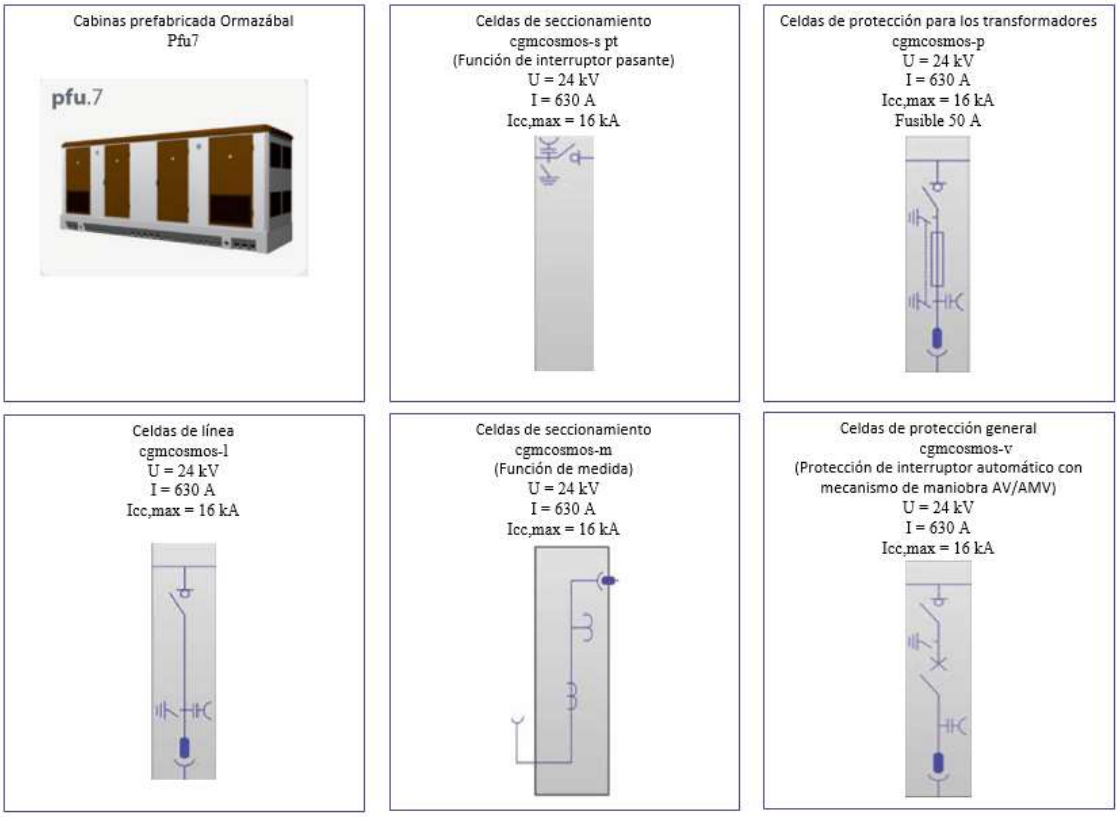


Figure 33 : material del CT abonado

3.b) Cuadro BT en el CT abonado

Selección del material

Elegimos un cuadro BT del fabricante PRONUTEC tipo Abonado / Industrial.
El cuadro de BT elegido es el mismo que el del CT de compañía, la diferencia es que para abonados ponemos un interruptor de tipo interruptor automático para aumentar el nivel de protección.

Intensidad nominal *Rader current*	Transformador de potencia *Power transformer* (440 V)	Nº máx. de salidas según tipo de interruptor *Max. No. Of outgoings according to main operation*										
		PNT PREMIUM / DOBLE *PNT PREMIUM / INSULATED*		POLIÉSTER PNT *PNT POLYESTER*		ENVOLVENTE METÁLICA *METALLIC ENCLOSURE*						
		Interruptor de corte en carga *Load break switch (IC)*	Interruptor automático *Circuit breaker (CM)*	Interruptor de corte en carga *Load break switch (IC)*	Interruptor automáttico *Circuit breaker (CM)*	Interruptor de corte en carga *Load break switch (IC)*				Interruptor automático *Circuit breaker (CM)*		
		1	1	4	1	1	2	4	8	1	4	8
160 A	100 kVA	p.60	p.61									
250 A	160 kVA	p.60	p.61									
400 A	250 kVA	p.60	p.61	p.65								
630 A	400 kVA	p.63	p.61	p.65	p.66			p.71		p.73	p.74	
800 A	500 kVA	p.63			p.66			p.71		p.73	p.74	
1000 A	630 kVA	p.63			p.66			p.71		p.73	p.74	
1250 A	800 kVA	p.63			p.66			p.71		p.73	p.74	
1600 A	1000 kVA				p.66	p.69		p.71		p.73	p.74	
2000 A	1250 kVA					p.81	p.81		p.83	p.80		p.85
2500 A	1600 kVA					p.81	p.81		p.83	p.80		p.85
3200 A	2000 kVA					p.81	p.81		p.83	p.80		p.85

Figure 34 : Tabla dada por el fabricante

Queremos un CBT que suporta una intensidad nominal de 1250 A, además deseamos 3 salidas, entonces buscamos un CBT con 4 salidas.

CBT elegido: CBTA Metálica UNESA – Interruptor automático – 4 salidas.
Descripción del CBT elegido: CBTA U 1250 CM 4P ST4 BC400ILF
Referencia del CBT elegido: 416.43.72.11.23

Este modelo tiene un interruptor de carga con fusible en cada rama.

Acometida / *Incoming*	Superior / *Top*				
Amperaje / *Rated current*	630 A	800 A	1000 A	1250 A	1600 A
Instalación / *Installation*	Interior / *Indoor*				
Envolvente / *Enclosure*	Metálica tipo UNESA *Metallic UNESA type*				
Maniobra general / *Operation*	Interruptor automático de caja moldeada 3F+N *3P+N moulded case circuit breaker*				
Tipo de salidas / *Outgoing types*	*BTVC TRIVER + / **BTVC TRIVER +*				
Nº de salidas / *No. of outgoings*	4				
Opciones / *Options*	- Circuitos auxiliares - Enclavamiento del interruptor por cerradura - Protección diferencial *- Auxiliary circuits* *- Locking device for switch* *- Residual current protection*				
Nº de cables para la acometida *No. of incoming cables*	4 x 240 mm²				

Figure 35 : características del CBT elegido

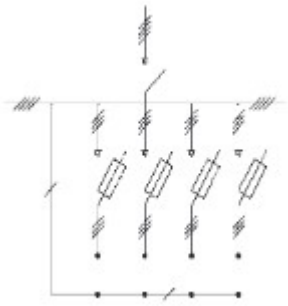


Figure 36 : esquema eléctrico del CBT