

2. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN COMPAÑÍA

2.1 Generalidades

En cada uno de los centros de transformación de la red los transformadores alimentan diferentes líneas de baja tensión. Por lo tanto dichos transformadores no se encuentran conectados en paralelo.

Aún así guardan todos la misma relación de transformación:

$$\text{Tensión Primario} = 15\,000\text{ V}$$

$$\text{Tensión Secundario (en carga)} = 400\text{ V}$$

También el reparto de potencias será proporcional, lo que conlleva que las tensiones de cortocircuito sean parecidas, como así quedo reflejado en la descripción de los transformadores.

Por último los índices horarios de los transformadores serán iguales. El grupo de conexión de los transformadores ya señalamos en los apartados del capítulo 5 del documento “MEMORIA” que es: Dyn11, para ambos transformadores de un mismo centro de transformación.

2.2 Intensidad de alta tensión

El valor de esta intensidad es el utilizado para dimensionar posteriormente los anillos en Media Tensión. Podremos evaluar la intensidad que está pasando por el cable y así determinar las caídas de tensión y comprobar que no sobrepase la Intensidad máxima admisible.

En un sistema trifásico, la intensidad primaria I_p viene determinada por la expresión:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Siendo:

- S = Potencia del transformador
- U = Tensión compuesta primaria
- I_p = Intensidad primarias

Sustituyendo valores, tendremos:

Potencia del transformador (kVA)	I_p (A)
-----	-----
400	15,40
630	24,25

siendo la intensidad total primaria de 39,65 A.

2.3 Intensidad de baja tensión

El valor de la intensidad de baja tensión deberá ser el utilizado para dimensionar correctamente las líneas de baja tensión desde los cuadros de baja de los centros de transformación hasta las cajas generales de protección de cada una de las parcelas.

En un sistema trifásico la intensidad secundaria I_s viene determinada por la expresión:

$$I_s = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Siendo:

- S = Potencia del transformador
- U = Tensión compuesta en carga del secundario
- I_s = Intensidad secundaria

Sustituyendo valores, tendremos:

Potencia del transformador (kVA)	Is (A)
400	577,4
630	909,3

Como podemos prever los rendimientos de los transformadores son muy elevados, por lo que apenas nos afecta para el dimensionamiento de nuestra red.

Para el transformador de 400 kVA:

$$\eta = \frac{S}{S + W_{Fe} + W_{Cu}} ; \quad \eta = \frac{400}{400 + 5,528} = 0,98 \longrightarrow 98 \%$$

Para el transformador de 630 kVA:

$$\eta = \frac{S}{S + W_{Fe} + W_{Cu}} ; \quad \eta = \frac{630}{630 + 7,798} = 0,98 \longrightarrow 98 \%$$

Siendo η el rendimiento nominal (a plena carga) del transformador.

2.4 Cortocircuitos

2.4.1 *Cálculo de las Corrientes de Cortocircuito*

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito se determina una potencia de cortocircuito de 400 MVA en la red de distribución, dato proporcionado por la Compañía suministradora.

Para la realización del cálculo de las corrientes de cortocircuito utilizaremos las expresiones:

- Intensidad primaria para cortocircuito en el lado de alta tensión:

$$I_{ccp} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Siendo:

$$S_{cc} = \text{Potencia de cortocircuito de la red}$$

U = Tensión primaria

I_{ccp} = Intensidad de cortocircuito primaria

- Intensidad primaria para cortocircuito en el lado de baja tensión (despreciando la impedancia de la red de alta tensión):

$$I_{ccp} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot \frac{U_{cc}}{100} \cdot U_p}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador

U_{cc} = Tensión porcentual de cortocircuito del transformador

U_p = Tensión primaria en carga

I_{ccp} = Intensidad de cortocircuito primaria

- Intensidad secundaria para cortocircuito en el lado de baja tensión (despreciando la impedancia de la red de alta tensión):

$$I_{ccs} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot \frac{U_{cc}}{100} \cdot U_s}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador

U_{cc} = Tensión porcentual de cortocircuito del transformador

U_s = Tensión secundaria en carga

I_{ccs} = Intensidad de cortocircuito secundaria

2.4.2 Cortocircuito en el lado de Alta Tensión

Utilizando la fórmula expuesta anteriormente con:

$$S_{cc} = 400 \text{ MVA}$$

$$U = 15 \text{ kV}$$

y sustituyendo valores, tendremos una intensidad primaria máxima para un cortocircuito en el lado de alta tensión de:

$$I_{ccp} = 15,4 \text{ kA}$$

2.4.3 Cortocircuito en el lado de Baja Tensión

Utilizando la fórmulas expuestas anteriormente y sustituyendo valores, tendremos:

Potencia del transformador (kVA)	U_{cc} (%)	I_{ccp} (kA)
400	4	0,38

Potencia del transformador (kVA)	U_{cc} (%)	I_{ccp} (kA)
630	4	0,61

Siendo:

- U_{cc} : Tensión de cortocircuito del transformador
- I_{ccp} : Intensidad primaria máxima para un cortocircuito en el lado de baja tensión

Observamos que, como era de esperar, esta intensidad es menor que la que circulará por el primario en caso de cortocircuito en el lado de alta tensión.

Potencia del transformador (kVA)	U_{cc} (%)	I_{ccs} (kA)
400	4	14,43

Potencia del transformador (kVA)	U_{cc} (%)	I_{ccs} (kA)
630	4	22,73

Siendo:

- Ucc: Tensión de cortocircuito del transformador
- Iccs: Intensidad secundaria máxima para un cortocircuito en el lado de baja tensión

2.5 Dimensionado del embarrado

2.5.1 *Introducción*

El embarrado de las celdas SM6 está constituido por tramos rectos de tubo de cobre recubiertas de aislamiento termorretráctil.

Las barras se fijan a las conexiones al efecto existentes en la parte superior del cárter del aparato funcional (interruptor-seccionador o seccionador en SF6). La fijación de barras se realiza con tornillos M8.

La separación entre las sujeciones de una misma fase y correspondientes a dos celdas contiguas es de 375 mm. La separación entre barras (separación entre fases) es de 200 mm.

Características del embarrado:

- | | |
|---------------------------|--------------|
| - Intensidad nominal: | 400 A |
| - Límite térmico 1 s: | 16 kA ef |
| - Límite electrodinámico: | 40 kA cresta |

Por tanto, hay que asegurar que el límite térmico es superior al valor eficaz máximo que puede alcanzar la intensidad de cortocircuito en el lado de Alta Tensión.

2.5.2 *Comprobación por densidad de corriente*

Para la intensidad nominal de 400 A el embarrado de las celdas SM6 es de tubo de cobre de diámetro exterior de 24 mm de diámetro y con un espesor de 3 mm, lo que equivale a una sección de 198 mm².

La densidad de corriente es:

$$d = \frac{400}{198} = 2,02 \text{ A / mm}^2$$

Según normativa DIN se tiene que para una temperatura ambiente de 35°C y del embarrado a 65°C, la intensidad máxima admisible es de 548 A para un diámetro de 20 mm. y de 818 A para diámetro de 32 mm, lo cual corresponde a las densidades máximas de 3,42 A/mm² y 2,99 A/mm² respectivamente. Con estos valores se obtendría una densidad máxima admisible de 3,29 A/mm² para el embarrado de diámetro de 24, valor superior al calculado (2,02 A/mm²). Con estos datos se garantiza el embarrado de 400 A y un calentamiento de 30°C sobre la temperatura ambiente.

2.5.3 Comprobación por sollicitación electrodinámica.

Para el cálculo consideramos un cortocircuito trifásico de 16 kA eficaces y 40 kA cresta.

El esfuerzo mayor se produce sobre el conductor de la fase central, conforme a la siguiente expresión (Referencia [8]):

$$F = 13,85 \cdot 10^{-7} \cdot f \cdot \frac{I_{cc}^2}{d} \cdot L \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{d^2}{L^2}} - \frac{d}{L} \right)$$

Siendo:

- F = Fuerza resultante en newton.
- f = coeficiente en función de $\cos\phi$, siendo $f=1$ para $\cos\phi=0$
- I_{cc} = intensidad máxima de cortocircuito = 16 000 A eficaces
- d = separación entre fases = 0,2 metros.
- L = longitud tramos embarrado = 375 mm.

y sustituyendo, $F = 399 \text{ Nw}$.

Esta fuerza está uniformemente repartida en toda la longitud del embarrado, siendo la carga:

$$q = \frac{F}{L} = 0,108 \text{ kg / mm}$$

Cada barra equivale a una viga empotrada en ambos extremos, con carga uniformemente repartida.

El momento flector máximo se produce en los extremos, siendo:

$$M_{\max} = \frac{q \cdot L^2}{12} = 1272 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

El embarrado tiene un diámetro exterior $D=24$ mm. y un diámetro interior $d=18$ mm.

El módulo resistente de la barra es:

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right); \quad W = \frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{24^4 - 18^4}{24} \right) = 927 \text{ mm}^3$$

La fatiga máxima es:

$$r_{\max} = \frac{M_{\max}}{W}; \quad r_{\max} = \frac{1272}{927} = 1,37 \text{ kg / mm}^2$$

Para la barra de cobre deformada en frío tenemos:

$$r = 19 \text{ kg/mm}^2 \gg r_{\max}$$

y por lo tanto, existe un gran margen de seguridad.

El momento flector en los extremos debe ser soportado por tornillos M8, con un par de apriete de 2,8 m.Kg., superior al par máximo (M_{\max}).

2.5.4 Cálculo por solicitud térmica. Sobreintensidad térmica admisible.

La sobreintensidad máxima admisible durante un segundo se determina de acuerdo con CEI 298 de 1981 por la expresión:

$$S = \frac{I}{\alpha} \cdot \sqrt{\frac{t}{\delta}}$$

Siendo:

S = sección de cobre en milímetros cuadrados = 198 mm²

α = 13 para el cobre

t = tiempo de duración del cortocircuito en segundos

I = Intensidad eficaz en amperios

δ = 180°C para conductores inicialmente a t^a ambiente

Si reducimos este valor en 30°C por considerar que el cortocircuito se produce después del paso permanente de la intensidad nominal, y para I = 16 kA:

$$\delta = 150^\circ$$

$$t = 150 \cdot \left(\frac{S \cdot \alpha}{I} \right)^2$$

y sustituyendo:

$$t = 150 \cdot \left(\frac{198 \cdot 13}{16000} \right)^2 = 3,88 \text{ s}$$

Por lo tanto, y según este criterio, el embarrado podría soportar una intensidad de 16 kA eficaces durante más de un segundo.

2.6 Selección de las protecciones

2.6.1 *Protección contra sobreintensidades*

Todos los transformadores a que se refiere este proyecto deben estar debidamente protegidos contra los efectos peligrosos, térmicos y dinámicos, que puedan originar las corrientes de cortocircuito y las de sobrecarga cuando éstas puedan producir averías y daños en las citadas instalaciones.

Para las protecciones contra las sobreintensidades se utilizarán interruptores automáticos o cortacircuitos fusibles, con las características de funcionamiento que correspondan a las exigencias de la instalación que protegen.

Entre los diferentes dispositivos de protección contra las sobreintensidades pertenecientes a la misma instalación, o en relación con otras exteriores a ésta, se establecerá una adecuada coordinación de actuación para que la parte desconectada en caso de cortocircuito o sobrecarga sea la menor posible

Las sobreintensidades deberán eliminarse por un dispositivo de protección utilizado sin que produzca proyecciones peligrosas de materiales ni explosiones que puedan ocasionar daños a personas o cosas.

En todos los centros de compañía se instalarán cortacircuitos fusibles. Mientras que en el centro de transformación de abonado, que se verá en el siguiente capítulo del presente proyecto, utilizamos interruptores automáticos para la protección de los transformadores. Esta distinción obedece más a razones económicas que a razones de carácter técnico. Siempre que estemos protegiendo transformadores de potencias inferiores a 1 000 kVA la protección que nos garantiza el cortacircuito fusible es suficiente para todos los criterios que se han de tener cuenta. Esta fórmula es mucho más favorable económicamente, aunque presente alguna incomodidad a la hora del mantenimiento. Pensemos que mientras un interruptor automático

puede ser recargado desde un telemando automáticamente, cuando por cualquier incidencia dispara, en el caso del ruptofusible un operario debería desplazarse hasta el centro para sustituir el fusible fundido. Puesto que la Compañía Suministradora dispone de personal en la zona donde se ubica el presente proyecto para par llevar a cabo este mantenimiento, se opta por la solución más económica, con cortacircuito fusible.

- Protección en Alta Tensión

Los cortacircuitos fusibles son los limitadores de corriente, produciéndose su fusión, para una intensidad determinada, antes que la corriente haya alcanzado su valor máximo. De todas formas, esta protección debe permitir el paso de la punta de corriente producida en la conexión del transformador en vacío, soportar la intensidad en servicio continuo y sobrecargas eventuales y cortar las intensidades de defecto en los bornes del secundario del transformador.

Como regla práctica, simple y comprobada, que tiene en cuenta la conexión en vacío del transformador y evita el envejecimiento del fusible, se puede verificar que la intensidad que hace fundir al fusible en 0,1 segundo es siempre superior o igual a 14 veces la intensidad nominal del transformador.

La intensidad nominal de los fusibles se escogerá por tanto en función de la potencia del transformador a proteger, la tensión de servicio, poder de corte y corriente mínima de corte.

Potencia del transformador (kVA)	Calibre del fusible de A.T. (A)
400	40
630	63

Este calibre es 40 % sobredimensionado del valor de la Intensidad nominal de los transformadores.

- Protección en Baja Tensión

En el circuito de baja tensión del transformador se instalará un cuadro de distribución modelo CBT-4S, acorde con la norma RU 6302 A, con posibilidad de extensionamiento, que se equipará con los fusibles adecuados para la protección de cada una de las líneas de salida previstas, en función de la intensidad máxima admisible de cada una de ellas, escogiéndose con un calibre de 350 A. Dicho cuadro estará homologado por la Compañía Suministradora.

Potencia del transformador (kVA)	Nº de Salidas en B.T.
400	4
630	4

2.6.2 Protecciones contra sobretensiones

Las instalaciones eléctricas deberán protegerse contra las sobretensiones peligrosas tanto de origen interno como de origen atmosférico cuando la importancia de la instalación, el valor de las sobretensiones y su frecuencia de ocurrencia, así lo aconsejen.

Para ello se utilizarán, como regla general, pararrayos autoválvulas de resistencia variable. Los bornes de tierra de estas autoválvulas se unirán a la toma de tierra de acuerdo con lo establecido en la RAT 13.

2.6.3 Protecciones contra sobrecalentamientos

Los transformadores para distribución deberán protegerse contra sobreintensidades. Sólo cuando no se prevean sobrecargas eventuales o se disponga de un sistema de seguimiento de la evolución de las cargas, no necesitarán protección. En los demás casos se protegerá contra sobrecargas por medio de interruptores accionados por relés de sobreintensidad, o bien por medio de dispositivos térmicos que detecten la temperatura del devanado o las del medio refrigerante.

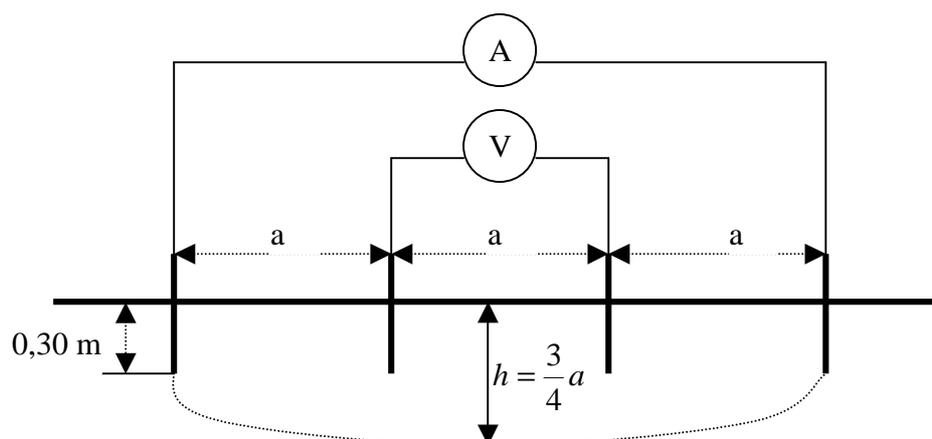
En nuestro caso hemos optado por la instalación de Termómetros de esfera con dos contactos, uno para alarma y otro para disparo, para todos los centros de Compañía. Siendo esta la opción más favorable desde el punto de vista económico.

Al haber optado por transformadores de aceite mineral de llenado integral, no aparece la protección típica de transformadores con depósito de expansión, el relé Buchholz. Los primeros no permiten la formación de burbujas en el dieléctrico del transformador, efecto en el que se basa el relé Buchholz para generar la orden de desconexión.

2.7 Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra

2.7.1 *Investigación de las características del suelo*

El procedimiento más utilizado y recomendado (Referencia [7]) es el método de “Wenner”, según el cual se dispondrán cuatro sondas alineadas a intervalos iguales, simétricas respecto al punto en donde se desea medir la resistividad del terreno. La profundidad de estas sondas no es preciso que sobrepase los 30 cm. La separación entre las sondas “a” permite conocer la resistividad media del terreno entre su superficie y una profundidad h, aproximadamente igual a la profundidad máxima a la que se instalará el electrodo.



$$\text{Siendo : } a = \frac{4}{3}h$$

$$\sigma = \frac{2\pi aV}{I} \Rightarrow \sigma = 2\pi ar \text{ (}\Omega \cdot \text{m)}$$

$$r = \frac{V}{I}$$

Teniendo en cuenta que los electrodos serán picas de 2 m de longitud, se realizó la medición para una profundidad de 2,25 m (profundidad máxima de hincado), obteniendo como resultados los que se muestran en la Tabla 2-1, y tomando por tanto una resistividad media del terreno de 100 $\Omega \cdot \text{m}$.

Tabla 2-1: Resultados del estudio del terreno

<i>Distancia entre sondas "a"(m)</i>	<i>Profundidad "h"(m)</i>	<i>Coficiente $K=2 \cdot \pi \cdot a$</i>	<i>Lectura aparato "r"</i>	<i>Resistividad del terreno "σ"</i>
3	2,25	18,85	5,3	99,91

2.7.2 Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y tiempo máximo correspondiente de eliminación de defecto

Los cálculos que siguen están referidos a la tensión de servicio de la futura instalación, es decir 15 kV. Según los datos de la red proporcionados por la compañía suministradora (UEFE), el tiempo máximo de eliminación del defecto es de 0,2 / 2 segundos, existiendo un reenganche rápido a 300 ms. Por ello el tiempo a considerar en el cálculo de tierras será de 0,2 s. Los valores de K y n para calcular la tensión máxima de contacto aplicada según MIE-RAT 13 en el tiempo de defecto proporcionado por la Compañía son:

$$K = 72 \quad ; \quad n = 1 \quad \Rightarrow \quad V_{ca} = \frac{K}{t^n}$$

Por otra parte, el neutro de la red de distribución en Media Tensión está aislado. Por esto, la intensidad máxima de defecto dependerá de la capacidad entre la red y tierra. Dicha capacidad

dependerá no sólo de la línea a la que está conectado el centro, sino también de todas aquellas líneas tanto aéreas como subterráneas que tengan su origen en la misma subestación de cabecera, ya que en el momento en que se produzca un defecto (y hasta su eliminación) todas estas líneas estarán interconectadas.

En este caso, según datos proporcionados por UEFE, no existen líneas aéreas y la longitud de las líneas subterráneas es de 1 km.

Las expresiones a emplear para calcular la intensidad de defecto son (Referencia [17]):

$$I_d = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_t^2 + X_c^2}}$$

donde,

R_t : resistencia del sistema de puesta a tierra

$$X_c = 1 / (3 \cdot w \cdot C)$$

$$C = L_a \cdot C_a + L_s \cdot C_s \quad (\text{capacidad de la red})$$

$$w = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \quad (\text{pulsación de la red})$$

L_a = longitud de las líneas aéreas de la subestación en kilómetros

L_s = Longitud de las líneas subterráneas de la subestación en kilómetros

C_a = 0,006 E-6 faradios / km (capacidad homopolar de las líneas aéreas de media tensión, dato proporcionado por UEFE)

C_s = 0,25E-6 faradios / km (capacidad homopolar de las líneas subterráneas de media tensión, dato proporcionado por UEFE)

Según datos proporcionados por la Compañía Eléctrica:

- $L_a = 0$ km.

- $L_s = 30$ km.

Por lo que:

- $C = 7,5$ E-6 faradios.

$$- X_c = 141,47 \Omega$$

2.7.3 Diseño preliminar de la instalación de tierra

Para el diseño preliminar se estudiarán por separado la tierra de protección y la de servicio. Al presentar esta instalación las condiciones especificadas en el apartado 6.3. del MIE-RAT 13 ($U_d \leq 1.000V$), las puestas a tierra de protección y de servicio de la instalación podrán interconectarse y constituir una instalación de tierra general, pero siguiendo las recomendaciones UNESA (Referencia [17]), se opta por la separación de las mismas para una mayor seguridad de la instalación.

- TIERRA DE PROTECCIÓN

Se conectarán a este sistema las partes metálicas de la instalación que no estén en tensión normalmente pero puedan estarlo a consecuencia de averías o causas fortuitas, tales como los chasis y los bastidores de los aparatos de maniobra, envolventes metálicas de las cabinas prefabricadas y carcasas de los transformadores.

Para los cálculos a realizar emplearemos las expresiones y procedimientos según el "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría", editado por UNESA, conforme a las características del centro de transformación objeto del presente cálculo, siendo, entre otras, las siguientes:

Para la tierra de protección optaremos por un sistema de las características que se indican a continuación:

- Identificación: código 5/32 del método de cálculo de tierras de UNESA.

- Parámetros característicos:

$$K_r = 0,135 \Omega / (\Omega \cdot m).$$

$$K_p = 0,0252 V / (\Omega \cdot m \cdot A).$$

- Descripción:

Estará constituida por 3 picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm y una longitud de 2 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0,5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 3 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 6 m.

La conexión desde el Centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre aislado de 0,6/1 kV protegido contra daños mecánicos.

TIERRA DE SERVICIO

Se conectarán a este sistema el neutro del transformador.

Las características de las picas serán las mismas que las indicadas para la tierra de protección.

La configuración escogida se describe a continuación:

- Identificación: código 5/32 del método de cálculo de tierras de UNESA.

- Parámetros característicos:

$$K_r = 0,135 \Omega / (\Omega \cdot m)$$

$$K_p = 0,0252 V / (\Omega \cdot m \cdot A)$$

- Descripción:

Estará constituida por tres picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm. y una longitud de 2 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0,5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 3 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 6 m., dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

La conexión desde el centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre aislado de 0,6/1 kV protegido contra daños mecánicos.

Con objeto de conseguir que un defecto a tierra en la instalación de Baja Tensión, protegida contra contactos indirectos por un interruptor diferencial de sensibilidad 650 mA., no ocasione en el electrodo de puesta a tierra una tensión superior a 24 Voltios, el valor de la resistencia de puesta a tierra del electrodo deberá ser inferior a 37Ω ($24 / 0,650$).

Existirá una separación mínima entre las picas de la tierra de protección y las picas de la tierra de servicio a fin de evitar la posible transferencia de tensiones elevadas a la red de Baja Tensión.

2.7.4 Cálculo de la resistencia del sistema de tierras

TIERRA DE PROTECCIÓN

Para el cálculo de la resistencia de la puesta a tierra de las masas del centro (R_t), intensidad y tensión de defecto correspondientes (I_d , U_d), utilizaremos las siguientes fórmulas (Referencia [17]):

- Resistencia del sistema de puesta a tierra, R_t :

$$R_t = K_r \cdot \sigma .$$

- Intensidad de defecto, I_d :

$$I_d = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_t^2 + X_c^2}}$$

- Tensión de defecto, U_d :

$$U_d = I_d R_t$$

Siendo:

$$\sigma = 100 \Omega \cdot \text{m}$$

$$K_r = 0,135 \Omega \cdot /(\Omega \cdot \text{m})$$

$$X_c = 141,47 \Omega$$

se obtienen los siguientes resultados:

$$R_t = 13,5 \Omega$$

$$I_d = 60,94 \text{ A.}$$

$$U_d = 822,68 \text{ V.}$$

El aislamiento de las instalaciones de baja tensión del centro de transformación. deberá ser mayor o igual que la tensión máxima de defecto calculada (U_d).

De esta manera se evitará que las sobretensiones que aparezcan al producirse un defecto en la parte de Alta Tensión deterioren los elementos de Baja Tensión del centro, y por ende no afecten a la red de Baja Tensión.

TIERRA DE SERVICIO

$$R_t = K_r \cdot \sigma = 0,135 \cdot 100 = 13,5 \Omega$$

que vemos que es inferior a 37Ω .

2.7.5 Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación

Con el fin de evitar la aparición de tensiones de contacto elevadas en el exterior de la instalación, las puertas y rejas de ventilación metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico alguno con masas conductoras que, a causa de defectos o averías, sean susceptibles de quedar sometidas a tensión.

Con estas medidas de seguridad, no será necesario calcular las tensiones de contacto en el exterior, ya que éstas serán prácticamente nulas.

Por otra parte, la tensión de paso en el exterior vendrá determinada por las características del electrodo y de la resistividad del terreno, por la expresión:

$$U_p = K_p \cdot \sigma \cdot I_d = 0,0252 \cdot 100 \cdot 60,94 = 153,57 \text{ V}$$

2.7.6 Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación

El piso del Centro estará constituido por un mallazo electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm. formando una retícula no superior a 0,30 m x 0,30 m. Este mallazo se conectará como mínimo en dos puntos preferentemente opuestos a la puesta a tierra de protección del Centro. Con esta disposición se consigue que la persona que deba acceder a una parte que pueda quedar en tensión, de forma eventual, está sobre una superficie equipotencial, con lo que desaparece el riesgo inherente a la tensión de contacto y de paso interior. Este mallazo se cubrirá con una capa de hormigón de 10 cm. de espesor como mínimo.

El edificio prefabricado de hormigón EHC estará construido de tal manera que, una vez fabricado, su interior sea una superficie equipotencial. Todas las varillas metálicas embebidas en el hormigón que constituyan la armadura del sistema equipotencial estarán unidas entre sí mediante soldadura eléctrica.

Esta armadura equipotencial se conectará al sistema de tierras de protección (excepto puertas y rejillas, que como ya se ha indicado no tendrán contacto eléctrico con el sistema equipotencial; debiendo estar aisladas de la armadura con una resistencia igual o superior a 10.000 ohmios a los 28 días de fabricación de las paredes).

Así pues, no será necesario el cálculo de las tensiones de paso y contacto en el interior de la instalación, puesto que su valor será prácticamente nulo.

No obstante, y según el método de cálculo empleado, la existencia de una malla equipotencial conectada al electrodo de tierra implica que la tensión de paso de acceso es equivalente al valor de la tensión de defecto, que se obtiene mediante la expresión:

$$U_p \text{ acceso} = U_d = R_t \cdot I_d = 13,5 \cdot 2,72 = 822,69 \text{ V}$$

2.7.7 Cálculo de las tensiones aplicadas

Para la determinación de los valores máximos admisibles de la tensión de paso en el exterior, y en el acceso al centro, emplearemos las siguientes expresiones (Referencia [17]):

$$U_p(\text{exterior}) = 10 \cdot \frac{K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot \sigma}{1000}\right)$$

$$U_p(\text{acceso}) = 10 \cdot \frac{K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot \sigma + 3 \cdot \sigma h}{1000}\right)$$

Siendo:

$$U_p = \text{Tensiones de paso en Voltios}$$

$$K = 72$$

$$n = 1$$

$$t = \text{Duración de la falta en segundos: } 0,2 \text{ s}$$

$$\sigma = \text{Resistividad del terreno}$$

$$\sigma h = \text{Resistividad del hormigón} = 3.000 \text{ } \Omega \text{ m}$$

obtenemos los siguientes resultados:

$$U_p(\text{exterior}) = 5.760 \text{ V}$$

$$U_p(\text{acceso}) = 37.080 \text{ V}$$

Así pues, comprobamos que los valores calculados son inferiores a los máximos admisibles:

- en el exterior:

$$U_p = 153,57 \text{ V} < U_p(\text{exterior}) = 5.760 \text{ V}$$

- en el acceso al centro de transformación:

$$U_d = 822,69 \text{ V} < U_p(\text{acceso}) = 37.080 \text{ V}$$

2.7.8 Investigación de tensiones transferibles al exterior

Al no existir medios de transferencia de tensiones al exterior no se considera necesario un estudio previo para su reducción o eliminación.

No obstante, con el objeto de garantizar que el sistema de puesta a tierra de servicio no alcance tensiones elevadas cuando se produce un defecto, existirá una distancia de separación mínima D_{\min} , entre los electrodos de los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio. Esta distancia será tal que $U_d \leq 1.000 \text{ V}$ determinada por la expresión (Referencia [17]):

$$D_{\min} = \frac{\sigma \cdot I_d}{2000 \cdot \pi}$$

Puesto que $U_d = 822,68 \text{ V}$, se opta por una $D_{\min} = 6 \text{ m}$, recomendada por la compañía Suministradora (Referencia [9]).

2.7.9 Corrección y ajuste del diseño inicial estableciendo el definitivo

No se considera necesario la corrección del sistema proyectado. No obstante, si el valor medido de las tomas de tierra resultara elevado y pudiera dar lugar a tensiones de paso o contacto excesivas, se corregirían estas mediante la disposición de una alfombra aislante en el suelo del Centro, o cualquier otro medio que asegure la no-peligrosidad de estas tensiones.