

## **2. MEMORIA DE CÁLCULOS.**

- 2.1. PREVISIÓN DE POTENCIA.
- 2.2. CALCULOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN
  - 2.2.1. CÁLCULO DEL CONDUCTOR.
    - 2.2.1.1. JUSTIFICACIÓN DEL NIVEL DE TENSIÓN DEL CABLE.
    - 2.2.1.2. CÁLCULO DE LA SECCIÓN DEL CONDUCTOR.
    - 2.2.1.3. COMPROBACIÓN DE LA PANTALLA ELECTROESTÁTICA.
  - 2.2.2. INTENSIDADES.
    - 2.2.2.1. INTENSIDAD NOMINAL DE LA LÍNEA.
    - 2.2.2.2. INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO DE LA LÍNEA.
  - 2.2.3. CAÍDA DE TENSIÓN.
- 2.3. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.
  - 2.3.1. DIMENSIONADO DEL EMBARRADO
  - 2.3.2. INTENSIDAD EN EL LADO DE MEDIA TENSIÓN.
    - 2.3.3. INTENSIDAD EN EL LADO BAJA TENSIÓN.
    - 2.3.4. CORTOCIRCUITOS.
      - 2.3.4.1. OBSERVACIONES.
      - 2.3.4.2. CÁLCULO DE LAS INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO.
      - 2.3.4.3. CORTOCIRCUITO EN EL LADO DE MEDIA TENSIÓN.
      - 2.3.4.4. CORTOCIRCUITO EN EL LADO DE BAJA TENSIÓN.
  - 2.3.5. SELECCIÓN DE FUSIBLES DE ALTA TENSIÓN
    - 2.3.6. CÁLCULO LÍNEA B.T. DE TRAFEO A CUADRADO DE B.T.
    - 2.3.7. CÁLCULO DE LA RED DE TIERRA.
      - 2.3.7.1. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN 1.
      - 2.3.7.2. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN 2.
- 2.4. CONCLUSIÓN.

## **2. MEMORIA DE CÁLCULOS.**

### **2.1. PREVISIÓN DE POTENCIA.**

Previsión de potencia naves uso locales comerciales y oficinas.

Para el cálculo de la previsión de potencia que se ha de cubrir aplicaremos la ITC-BT-10, que nos permite hacer una previsión de la carga a instalar en edificios comerciales o de oficinas.

Este se calculará considerando un mínimo de 100 W por metro cuadrado y planta, con un mínimo por local de 3.450 W a 230 V y coeficiente de simultaneidad 1.

La previsión de potencia de las distintas naves según los metros cuadrados de las mismas se muestran en las siguientes tablas:

#### **PREVISIÓN DE POTENCIA PARCELA 11-A**

<b>Navenº</b>	<b>P.Baja</b>	<b>P.Alta</b>	<b>Entreplanta</b>	<b>TOTAL(m2)</b>	<b>Potencia Prevista(W)</b>
<b>1a</b>	89,78	89,78		179,56	17.956
<b>2a</b>	87,75	47,51		135,26	13.526
<b>3a</b>	87,75	47,51		135,26	13.526
<b>4a</b>	87,75	47,51		135,26	13.526
<b>5a</b>	87,75	47,51		135,26	13.526
<b>6a</b>	87,75	47,51		135,26	13.526
<b>7a</b>	87,75	47,51		135,26	13.526
<b>8a</b>	87,75	47,51		135,26	13.526
<b>9a</b>	87,75	47,51		135,26	13.526
<b>10a</b>	87,75	47,51		135,26	13.526
<b>11a</b>	87,75	47,51		135,26	13.526
<b>12a</b>	87,75	47,51		135,26	13.526

Navenº	P.Baja	P.Alta	Entreplanta	TOTAL(m2)	Potencia Prevista(W)
13a	87,75	47,51		135,26	13.526
14a	96,93	47,51		144,44	14.444
15a	102,53	47,51		150,04	15.004
16a	90,18	90,18		180,36	18.036
17a	116,56	75,35		191,91	19.191
18a	87,75	47,51		135,26	13.526
19a	87,75	47,51		135,26	13.526
20a	87,75	47,51		135,26	13.526
21a	87,75	47,51		135,26	13.526
22a	88,17	47,64		135,81	13.581
23a	91,45		36,47	127,92	12.792
24a	91		36,40	127,4	12.740
25a	91		36,40	127,4	12.740
26a	91		36,40	127,4	12.740
27a	91		36,40	127,4	12.740
28a	91		36,40	127,4	12.740
29a	90,27		36,40	126,67	12.667
30a	112,69		38,72	151,41	15.141
				<b>TOTAL (W)</b>	<b>418.928</b>

$$P_{11-A} = 418,928 \text{ KW}$$

### PREVISIÓN DE POTENCIA PARCELA 11-B

Navenº	P.Baja	P.Alta	Entreplanta	TOTAL(m2)	Potencia Prevista(W)
1b	93,65	68,85		162,5	16.250
2b	92,65	67,85		160,5	16.050
3b	91,65	66,85		158,5	15.850
4b	90,65	65,85		156,5	15.650
5b	89,65	64,85		154,5	15.450
6b	93,00		37,20	130,20	13.020
7b	93,00		37,20	130,20	13.020
8b	93,00		37,20	130,20	13.020

<b>Naven°</b>	<b>P.Baja</b>	<b>P.Alta</b>	<b>Entreplanta</b>	<b>TOTAL(m2)</b>	<b>Potencia Prevista(W)</b>
<b>9b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>10b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>11b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>12b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>13b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>14b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>15b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>16b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>17b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>18b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>19b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>20b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>21b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>22b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>23b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>24b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>25b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>26b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>27b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>28b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>29b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>30b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
<b>31b</b>	93,00		37,20	130,20	13.020
				<b>TOTAL (W)</b>	<b>417.770</b>

$$P_{11-B} = 417,770 \text{ KW}$$

**PREVISIÓN DE POTENCIA PARCELA 11-C**

<b>Navenº</b>	<b>P.Baja</b>	<b>P.Alta</b>	<b>Entreplanta</b>	<b>TOTAL(m2)</b>	<b>Potencia Prevista(W)</b>
1c	98,45	75,74		174,19	17.419
2c	113,68	86,12		199,8	19.980
3c	113,68	86,12		199,8	19.980
4c	113,68	86,12		199,8	19.980
5c	113,68	86,12		199,8	19.980
6c	113,68	86,12		199,8	19.980
7c	113,68	86,12		199,8	19.980
8c	98,52	79,03		177,55	17.755
9c	93,10		38,43	131,53	13.153
10c	87,60		35,04	122,64	12.264
11c	87,60		35,04	122,64	12.264
12c	87,60		35,04	122,64	12.264
13c	87,60		35,04	122,64	12.264
14c	87,60		35,04	122,64	12.264
15c	87,60		35,04	122,64	12.264
16c	87,60		35,04	122,64	12.264
17c	87,60		35,04	122,64	12.264
18c	87,60		35,04	122,64	12.264
19c	87,60		35,04	122,64	12.264
20c	87,60		35,04	122,64	12.264
21c	87,60		35,04	122,64	12.264
22c	87,60		35,04	122,64	12.264
23c	87,60		35,04	122,64	12.264
24c	75,95		33,22	109,17	10.917
25c	92,33		35,04	127,37	12.737
26c	87,60		35,04	122,64	12.264
27c	87,60		35,04	122,64	12.264
28c	87,60		35,04	122,64	12.264
29c	87,60		35,04	122,64	12.264
30c	87,60		35,04	122,64	12.264
31c	87,60		35,04	122,64	12.264

Navenº	P.Baja	P.Alta	Entreplanta	TOTAL(m2)	Potencia Prevista(W)
32c	87,60		35,04	122,64	12.264
33c	87,60		35,04	122,64	12.264
34c	92,11		41,34	133,45	13.345
				<b>TOTAL (W)</b>	<b>475.014</b>

$$P_{11-C} = 475,014 \text{ KW}$$

### Previsión de potencias alumbrado público.

La previsión de potencia del alumbrado público se hará teniendo en cuenta que se emplearán lámparas de vapor de sodio de alta presión, de 250 W.

Potencia activa: 250W

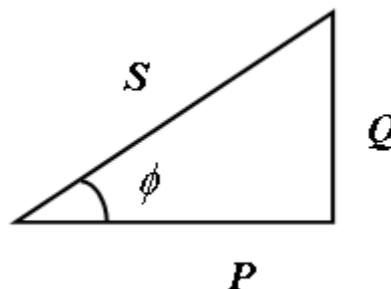
Potencia aparente en VA 1,8 veces la potencia en vatios, para tener en cuenta las corrientes armónicas en el arranque y el desequilibrio entre fases (ITC-BT-09).

$$S_{LUMINARIA} = 1,8 \cdot 250 = 450 \text{ VA./ Luminaria.}$$

El nivel de iluminación medio considerado para el alumbrado público del viario es de 18 lux, lo que ha dado lugar a que el total de luminarias necesarias sea 18.

La potencia necesaria para el alumbrado público será:

$$S_{ALUMBRADO} = 18 \text{ luminarias} \cdot 450 \text{ VA/Luminaria} = 8.100\text{VA} = 8,1 \text{ KVA.}$$



Teniendo un factor de potencia de 0,90, tal y como se indica en la ITC-BT-09:

$$P = 8,1 \text{ KVA} \times 0,9 = 7,29 \text{ kW.}$$

El cuadro de alumbrado será alimentado por el Centro de Transformación 1, el cual consta de dos transformadores, y esa potencia se repartirá entre los dos transformadores de dicho centro de transformación.

La potencia prevista en el centro de transformación 1 es la correspondiente a la de las naves de las parcelas 11-A y 11-B, y la potencia del alumbrado, lo que hace un total de potencia prevista para dicho Centro de Transformación 843,99 KW.

Este Centro de Transformación consta de dos TRAFOS de 630 kVA, por lo que si consideramos un factor de potencia medio de 0,8 dicho centro de transformación está capacitado para suministrar una potencia activa de:

$$P=2 \times 630 \times 0,8= 1.008 \text{ kW.}$$

Por lo que en el Centro de Transformación 1 está previsto para un aumento de una demanda futura de potencia de:

$$1.008-843,99=164,01\text{kW.}$$

La potencia prevista en el Centro de Transformación 2, el cual consta de un solo transformador, es la correspondiente a las naves de la parcela 11-C. que suman un total de 475,014 KW.

Este Centro de Transformación consta de un solo TRAFOS de 630kVA, considerando un factor de potencia de 0,8, tenemos que la potencia activa que podrá suministrar será:

$$P=1 \times 630 \times 0,8= 504 \text{ kW.}$$

Por lo que en el Centro de Transformación 1 está previsto para un aumento de demanda futura de potencia de:

$$504-475,014=28,986 \text{ kW.}$$

Por lo que la manzana M11 PERI PM-201 queda prevista para una demanda futura de potencia de:

$$P=164,01\text{kW} + 28,986 \text{ kW} =192,996 \text{ kW}$$

### **Centro de Transformación 1:**

Contiene dos transformadores de 630KVA, que aplicando la fórmula anterior nos producen una potencia de 1.008 KW, siendo la demanda de potencia prevista para el mismo de 843, 99 KW.

$$2 \text{ Trafos } 630 \text{ kVA} \rightarrow 1008 \text{ kW} > 843, 99\text{kW} \text{ prevista para CT 1}$$

### **Centro de Transformación 2:**

Contiene un transformador de 630KVA, que aplicando la fórmula anterior nos producen una potencia de 504 KW, siendo la demanda prevista para el mismo de 475,014 KW.

$$1 \text{ Trafo } 630 \text{ kVA} \rightarrow 504 \text{ kW} > 475,014 \text{ KW} \text{ prevista para CT 2}$$

Por lo que queda demostrado, que para la potencia prevista en el polígono será suficiente con la instalación de dos centros de transformación (3 TRAFOS 630 kVA) para el suministro eléctrico del mismo.

## **2.2. CALCULOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN**

En este apartado se harán los cálculos para dimensionar la red de distribución de Media Tensión. Después de analizar las redes existentes que atraviesan el municipio donde se

ubica el polígono objeto de estudio del presente proyecto y según datos suministrados por la compañía eléctrica distribuidora, se ha decidido conectar los dos centros de transformación a la línea subterránea existente que discurre por el VIAL VR-3 colindante a la manzana M10 del PERI PM-201 propiedad de la Compañía Sevillana-Endesa, ya que esta resulta ser la mejor opción por razones de cercanía y puede soportar la nueva carga sin problemas de saturación y caídas de tensión.

Dicha línea tiene una tensión de 20 kV trifásica y 50 Hz de frecuencia, y está cerrada en bucle, es decir, tiene origen y final en la subestación eléctrica. La línea que de nueva construcción efectuará entrada y salida en los centros de transformación uniéndolos y de forma que el anillo quede cerrado y no deberá superar en ninguno de los casos una caída de tensión superior al 7%, ya que este es el valor máximo permitido en las instalaciones de Media Tensión.

## **2.2.1. CÁLCULO DEL CONDUCTOR.**

### **2.2.1.1. JUSTIFICACIÓN DEL NIVEL DE TENSIÓN DEL CABLE.**

La red de ENDESA-CSE es con régimen permanente de neutro a tierra y su tensión nominal es 20kV. Para esas condiciones de diseño, el nivel de tensión del cable ha de ser:  $(U_0/U)= 12/20$  kV.

### **2.2.1.2. CÁLCULO DE LA SECCIÓN DEL CONDUCTOR.**

En las redes de ENDESA-CSE, la sección mínima del conductor viene impuesta en las Normas particulares de Compañía Sevillana de Electricidad. En estas normas, para el caso de redes de 20kV de tensión nominal, se fija una sección mínima de conductor de aluminio de  $150\text{mm}^2$ . A partir de los datos de los datos suministrados por la citada compañía de las propiedades de la red en el punto donde nos da servicio:

Potencia de cortocircuito: 500MVA.

Tensión nominal de la red (valor eficaz entre fases): 20kV.

Intensidad de cortocircuito a tierra: 1000 A.

Régimen neutro=A tierra a través de resistencia.

Tiempo de eliminación del defecto = 1s.

Comprobamos si necesitamos una sección superior a la antes citada:

$$I_{cc} = (500 \cdot 10^6) / (3^{1/2} \cdot 20 \cdot 10^3) = 14,43 \text{ kA}$$

Donde:

$$I_{cc} \equiv \text{Intensidad de cortocircuito trifásico.}$$

El valor de la densidad de corriente que la sección del cable (conductor aluminio) es capaz de soportar para el caso de un cortocircuito-trifásico es de:

$$\delta_{cc} = 93 \text{ A/mm}^2$$

Que es un dato suministrado por el fabricante del cable para unas condiciones de cortocircuito con una duración máxima de 1 segundo, para un cable con conductor de aluminio (Al) y con aislamiento de polietileno-reticulado (XLPE).

Con estos datos calculamos la sección del conductor Al, que durante 1 segundo sería capaz de soportar la intensidad de cortocircuito antes calculada (14,43 kA) es:

$$s_c = I_{cc} / \delta_{cc} = (14,43 \cdot 10^3) / 93 = 155,16 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{adoptamos un cable con una sección de } 240 \text{ mm}^2 \text{ de conductor de aluminio (Al) y con aislamiento de polietileno-reticulado (XLPE).}$$

### **2.2.1.3. COMPROBACIÓN DE LA PANTALLA ELECTROESTÁTICA.**

Se fija una pantalla electrostática constituida por un fleje de cobre de 0,1mm de espesor, acorde a las exigencias de las normas particulares de CSE-ENDESA. Para un cable de 12/20kV de nivel de aislamiento, con una sección de 240mm<sup>2</sup>, aislamiento polietileno-reticulado (XLPE), cubierta de PVC y una duración del cortocircuito (fase-tierra) de 1s, el fabricante garantiza que la pantalla electrostática del cable es capaz de evacuar una intensidad de cortocircuito (fase-tierra) de 1890 A. Por tanto, la pantalla electrostática seleccionada es válida porque se verifica que el valor anterior es mayor de 1000 A que es la intensidad de cortocircuito de la red, dato suministrado por la compañía suministradora CSE-ENDESA, tal y como anteriormente se comentó.

### 2.2.2. INTENSIDADES.

Calculamos a continuación las intensidades que soportará la línea comprobando que en ningún momento se supera las intensidades máximas admisibles por el conductor, demostrando así la idoneidad de este.

#### 2.2.2.1. Intensidad nominal de la línea.

Esta intensidad se corresponde con la intensidad en el lado primario del transformador. Se considera la potencia nominal de los tres transformadores, por tanto, al nivel de tensión de 20 kV, la potencia máxima a suministrar será de 1,89 MVA correspondiente a la suma de las potencias de los tres transformadores, que es el caso más desfavorable. Si aplicamos la siguiente formula:

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

Donde:

S	potencia nominal del transformador [kVA]
U	tensión nominal primaria de servicio [kV]
I <sub>n</sub>	intensidad primaria [A]

Se obtiene para el lado de alta tensión del transformador una intensidad :

- I<sub>n</sub> = 54,6A.
- 

#### 2.2.2.2. Intensidad de cortocircuito de la línea.

Esta intensidad es la misma que se ha considerado para el cálculo/comprobación de la sección del cable de Media Tensión.

Para el cálculo de intensidades que origina un cortocircuito, se tiene en cuenta la potencia de cortocircuito de la red que está especificada por la compañía distribuidora y es de 500 MVA.

El cálculo de la intensidad de cortocircuito de la línea se realiza con la ecuación incluida a continuación:

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

Donde:

$S_{cc}$	potencia de cortocircuito de la red [kVA]
$U$	tensión nominal de servicio [kV].
$I_{cc}$	intensidad de cortocircuito de la línea [A]

Se obtiene:

$$I_{cc} = 14,43 \text{ kA.}$$

Para

$$S_{cc} = 500 \cdot 10^3 \text{ kVA}$$

$$U = 20 \text{ kV}$$

### **2.2.3. CAIDA DE TENSIÓN.**

En este apartado se procede a calcular la caída de tensión en la línea, la cual en ningún caso debe ser superior al 7% permitido en las instalaciones de Media Tensión según las normas particulares de la compañía eléctrica distribuidora.

La caída de tensión la obtenemos mediante la expresión:

$$e = L \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot (R \cdot \cos \phi + X \cdot \text{sen} \phi)$$

Al tratarse de cables con aislamiento termoestable (XLPE) la temperatura máxima admisible del conductor en servicio continuo es de 90 °C, siendo esta por tanto la temperatura a la cual tenemos que realizar los cálculos de la caída de tensión.

La caída de tensión en los cables de Media Tensión tiene poca importancia, a menos que se trate de líneas de gran longitud que no es el caso que nos ocupa, ya que la longitud de la línea proyectada es de 147,32 metros.

Por este motivo podemos utilizar la ecuación arriba indicada y en la que se pueden aplicar de forma directa los valores aproximados de resistencia y reactancia unitarios que encontramos en las tablas del catálogo del fabricante PRYSMIAN (Pirelli), que es uno de los homologados por CSE-ENDESA para los cables de MT.

Para la temperatura máxima admisible del conductor en servicio de 90°C, una sección de conductor unipolar de 240 mm<sup>2</sup> y a una frecuencia de 50 Hz, encontramos en las tablas de catálogo de PRYSMIAN (Pirelli) (Pág. 77 y 78), los valores de resistencia y reactancia de dicho cable.

$$R=0,161 \Omega/\text{Km.}$$

$$X=0,105 \Omega/\text{Km.}$$

Considerando un factor de potencia de 0,8 obtenemos una caída de tensión:

$$e = 0,147 \cdot 54,6 \cdot 1,732 \cdot (0,161 \cdot 0,8 + 0,105 \cdot 0,6) = 2,72\text{V}$$

Que en tanto por ciento sobre la tensión nominal de 20kV resulta de 0,013%, valor notablemente inferior al 7% permitido por la compañía distribuidora.

## 2.3. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.

### 2.3.1. DIMENSIONADO DEL EMBARRADO

#### CARACTERÍSTICAS DEL EMBARRADO

El embarrado de las celdas seleccionadas está constituido por tramos recto de pletina de cobre, recubiertos de aislamiento termorretráctil. La pletina es de dimensiones 30x5 mm lo que equivale a una sección de:

$$S = h * e$$

Con  $\rightarrow h=30\text{mm};$

$\rightarrow e=5\text{mm}$

Por lo que la sección equivalente queda:

$$S= 30 \times 5 = 150\text{mm}^2$$

La separación entre sujeciones de una misma fase y correspondientes a dos celdas contiguas es de 375 mm.

La separación entre fases es de 230 mm.

Las características del embarrado deberán ser superiores a los que nos facilita la compañía suministradora SEVILLANA ENDESA para la red donde se realiza la conexión de Media Tensión que son las siguientes:

- Intensidad nominal 400 A.
- Limite térmico 1 seg. 16 KA.
- Límite electrodinámico: 40 KA.

**COMPROBACIÓN POR DENSIDAD DE CORRENTE.**

Para la intensidad nominal de 400 A. la densidad de corriente en el embarrado utilizado es de:

$$d = \frac{I}{S}$$

$$d = 400/150 = 2.67 \text{ A/mm}^2$$

Según el artículo 22 del reglamento de líneas de alta tensión se tiene que en una sección de 150mm<sup>2</sup> la densidad de corriente máxima admisible es de 3'40 A/mm<sup>2</sup>, superior a la calculada.

**COMPROBACIÓN POR SOLICITACIÓN ELECTRODINAMICA EN CORTOCIRCUITO.**

Para contemplar el caso más desfavorable consideraremos una corriente de cortocircuito trifásico de 16 KA eficaces y 40 KA. cresta, que coinciden con los límites térmico y electrodinámico del embarrado, siendo estos datos facilitados por la Compañía Distribuidora.

El esfuerzo mayor se produce sobre el conductor de la fase central, conforme a la siguiente expresión:

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

$$F = 324 \text{ Nw}$$

Siendo:

F = Fuerza restante, en Nw.

$f$  = coeficiente función de  $\cos \varphi$ , siendo  $f=1$  para  $\cos \varphi = 0$ ,

$I_{cc}$  = Corriente máxima de cortocircuito.

$d$  = Separación entre fases.

$L$  = Longitud tramos embarrado.

Sustituyendo los valores en la expresión anterior obtenemos un esfuerzo electrodinámico de  $F$  Nw es decir, aproximadamente  $F / 9,8 = 33.0$  kg

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

$$q = F / L = 8.805 \text{ kg/mm}$$

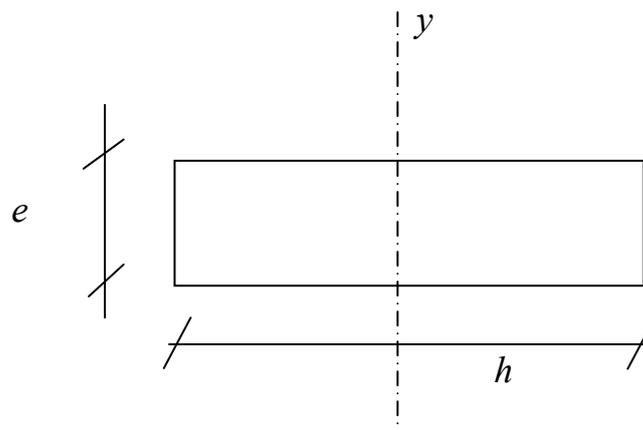
Cada barra equivale a una viga empotrada en ambos extremos, con una carga uniformemente repartida.

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

$$M_{\max} = \frac{q \cdot L^2}{12} = 1031.8 \text{ kg*mm}$$

El modulo resistente de la barra es:

$$W_y = \frac{I_y}{Y_{\max}}$$



$I_y$  = Momento inercia respecto al eje  $y$

$Y_{\max}$  = Distancia a la fibra más alejada

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot e^3 \cdot h \qquad I_{\max} = \frac{e}{2}$$

$$I_y = 312.5.$$

$$I_{\max} = 2.5.$$

$$W_y = 125.$$

Siendo esta carga menor que la máxima admisible para el cobre, que según datos del fabricante está cifrada en 19 kg/mm<sup>2</sup>, obteniéndose así un amplio margen de seguridad.

### **CÁLCULO POR SOLICITACIÓN TÉRMICA EN CORTOCIRCUITO, SOBREINTENSIDAD TÉRMICA ADMISIBLE**

La sección necesaria atendiendo a esfuerzos térmicos producidos por un cortocircuito se calcula por la expresión:

$$S = \sqrt{\frac{k \cdot I_{cc}^2 \cdot (t + \Delta t)}{\theta}}$$

Donde:

S = Sección de cobre, en mm<sup>2</sup>

K = Constante del material, para el cobre 0,0058 (mm<sup>2</sup>°C)/s\*A<sup>2</sup>)

I<sub>cc</sub> = Corriente de cortocircuito en el embarrado, en A

t = tiempo en segundos desde el inicio del cortocircuito hasta la desconexión de la protección.

ΔT = Tiempo adicional para tener en cuenta el calentamiento producido por la corriente de choque (valor de cresta).

θ = calentamiento del conductor, en °C. Se toma 180 °C para conductores inicialmente a temperatura ambiente. Este valor se suele reducir en 30 °C, por considerar que el cortocircuito se produce después del paso de la corriente permanente.

Si en la ecuación anterior despejamos el valor de  $(t+\Delta t)$ , obtenemos el tiempo que la sección del embarrado es capaz de soportar el cortocircuito hasta que actúe la protección correspondiente.

$$t + \Delta t = \frac{S^2 \cdot \theta}{k \cdot I_{cc}^2}$$

De este modo, según este criterio, el embarrado podría soportar una intensidad permanente de cortocircuito de 16 kA junto con su valor de choque, durante un tiempo de 2.27 segundos, que como es obvio es superior al tiempo en el que van a actuar las protecciones correspondientes.

### 2.3.2 INTENSIDAD EN EL LADO DE MEDIA TENSIÓN.

La intensidad nominal en el lado de Alta Tensión de un transformador trifásico viene dada por la expresión:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_p} \quad (2.1.a)$$

Donde:

S	potencia del transformador [kVA]
$U_p$	tensión primaria [kV]
$I_p$	intensidad primaria [A]

En el caso que nos ocupa, la tensión primaria de alimentación es de 20 kV.

Para el transformador 1, la potencia es de 630 kVA.

$$I_p = 18,2 \text{ A}$$

Para los transformadores 2 y 3, reobtiene el mismo resultado por ser su potencia nominal 630 kVA que es igual a la del transformador 1.

### 2.3.3 INTENSIDAD EN EL LADO DE BAJA TENSIÓN.

La intensidad secundaria en un transformador trifásico viene dada por la expresión:

$$I_s = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_s} \quad (2.2.a)$$

Donde:

S	potencia del transformador [kVA]
$U_s$	tensión en el secundario [kV]
$I_s$	intensidad en el secundario [A]

Para el transformador 1, la potencia es de 630 kVA, y la tensión secundaria es de 400 V.

La intensidad en las salidas de 400 V en régimen de plena carga puede alcanzar el valor

$$I_s \approx 910 \text{ A.}$$

### 2.3.4 CÁLCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO. DISEÑO DE PROTECCIONES.

#### 2.3.4.1 Observaciones

Para el cálculo de la intensidad que origina un cortocircuito en bornes del lado de Media Tensión de transformador se tendrá en cuenta la potencia de cortocircuito de la red de MT, valor especificado por la compañía eléctrica en 500 MVA. Esta intensidad de cortocircuito es la que se empleará para la selección de la aparamenta eléctrica a instalar en MT en los centros de transformación.

Para la selección de la aparatada del lado de Baja tensión del transformador, se considerará que la red de CSE\_ENDESA es una red de potencia infinita. Esta suposición proporciona las condiciones más drásticas en el cálculo de la corriente de cortocircuito.

#### 2.3.4.2 Cálculo de las intensidades de cortocircuito

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito en el punto de conexión en Media Tensión con la red de la CSE-ENDESA, se utiliza la expresión:

$$I_{ccp} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U_p} \quad (2.3.2.a)$$

Donde:

- $S_{cc}$  potencia de cortocircuito de la red [MVA]
- $U_p$  tensión de servicio [kV]
- $I_{ccp}$  corriente de cortocircuito [kA]

Utilizando la expresión 2.3.2.a, en el que la potencia de cortocircuito es de 500 MVA y la tensión de servicio 20 kV, la intensidad de cortocircuito en el lado de Media es:

$$I_{ccp} = 14,4 \text{ kA}$$

Para el cálculo de la corriente en el lado de Baja Tensión se considera la red de la compañía SEVILLANA-ENDESA como una red de potencia infinita, de esta forma la corriente de cortocircuito en el lado de Baja Tensión de cada uno de los transformadores trifásicos, viene dada por la expresión:

$$I_{ccs} = \frac{100 \cdot S}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot E_{cc}} \quad (2.3.2.b)$$

Donde:

S	potencia de transformador [kVA]
$E_{cc}$	tensión de cortocircuito del transformador [%]
$U_s$	tensión en el secundario [V]
$I_{ccs}$	corriente de cortocircuito [kA]

Para el transformador 1, la potencia es de 630 kVA, la tensión porcentual del cortocircuito del 4%, y la tensión asignada del transformador es de 400 V.

La intensidad de cortocircuito en el lado de BT con 400 V será, según la fórmula 2.3.2.b:

$$I_{ccs} = 22,76 \text{ KA}$$

Para los transformadores 2 y 3, al ser de igual potencia (630 kVA) e igual tensión porcentual del cortocircuito ( 4% ), la intensidad de cortocircuito en el lado de BT con 400 V será idéntica a la arriba obtenida ( $I_{ccs} = 22,76 \text{ KA}$ ).

En el Centro de Transformación nº 1, los dos transformadores previstos de instalar no están conectadas en paralelo por su secundario.

### 2.3.5 SELECCIÓN DE FUSIBLES DE ALTA TENSIÓN

En los cortocircuitos fusibles se produce la fusión en un valor de la intensidad determinado pero antes de 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, soportar la intensidad en servicio continuo y sobrecargas eventuales y cortar las intensidades de defecto en los bornes del secundario del transformador, así los fusibles se seleccionan para:

- Permitir el funcionamiento continuado a la intensidad nominal, requerida para esta aplicación.

- No producir disparos durante el arranque en vacío de los transformadores, tiempo en el que la intensidad es muy superior a la nominal y de una duración intermedia.
- No producir disparos cuando se producen corrientes de entre 10 y 20 veces la nominal, siempre que su duración sea inferior a 0,1 s, evitando así que los fenómenos transitorios provoquen interrupciones del suministro.

Sin embargo, los fusibles no constituyen una protección suficiente contra sobrecargas, que tendrán que ser evitadas incluyendo una protección térmica en el transformador. Ésta servirá para detección de emisión de gases del líquido dieléctrico, descenso accidental del mismo, aumento excesivo de la presión, lectura de la temperatura del dieléctrico y visualización del nivel.

La intensidad nominal del fusible de alta tensión, depende de la curva de fusión y normalmente esta comprendida entre 2 y 3 veces la intensidad nominal del transformador protegido, lo cual en nuestro caso, obtenemos:

$$K = \frac{I_f}{I_n}$$

$I_f$  = Intensidad nominal del fusible

$I_n$  = Intensidad nominal del transformador en A.T.

K = Valor de la curva. (entre 2 y 3)

El calibre de los fusibles se elegirá según la siguiente tabla que encontramos en las normas particulares de Sevillana Endesa, capítulo IV, apartado 2.3.3:

Tensión (kV)	Potencia del transformador (kVA)						
	50	100	160	250	400	630	1.000
25	5	10	16	20	32	40	63
20	5	10	20	32	40	63	63
15,4	10	16	20	40	63	63	100
10	10	20	32	40	63	100	100
5	20	40	63	100	100	---	---

Tabla 1. Tomo I. Calibre de fusibles M.T. Sevillana-Endesa.

Por lo que en el caso que nos ocupa, la intensidad nominal de los fusibles será de 63 A

en la celda de protección en el lado de MT de los transformadores.

Estos fusibles deben cumplir con la norma UNE EN-60282-1 (Fusibles limitadores de corriente para alta tensión) y tienen garantizados por fabricante un poder de corte de 50 kA, siendo este suficiente por ser mayor que la Intensidad de Cortocircuito del Transformador en el Lado de Alta Tensión que es de 14 kA.

Este calibre de fusible verifica las siguientes condiciones de sobrecarga:

$$\text{a) } 54,6 \text{ A} < 63 \text{ A} < 345 \text{ A}$$

$$\text{b) } 1,6 \cdot 63 \text{ A} < 1,45 \cdot 345 \text{ A}$$

Intensidad de carga (empleo) del cable en las condiciones de instalación = 54,6 A

Calibre del fusible MT = 63 A

Intensidad máxima de carga del cable en las condiciones de instalación = 345 A

En cuanto a protección frente a cortocircuitos el fabricante del fusible garantiza un tiempo de disparo de  $10^{-3}$  s, que es inferior a los valores  $(K \cdot S / I_{cc})^2$  correspondientes a un cable-MT con conductor de aluminio (Al) y aislamiento de polietileno-reticulado (XLPE).

En la figura 3 se muestran las curvas de fusión de los fusibles MT que han sido considerados.

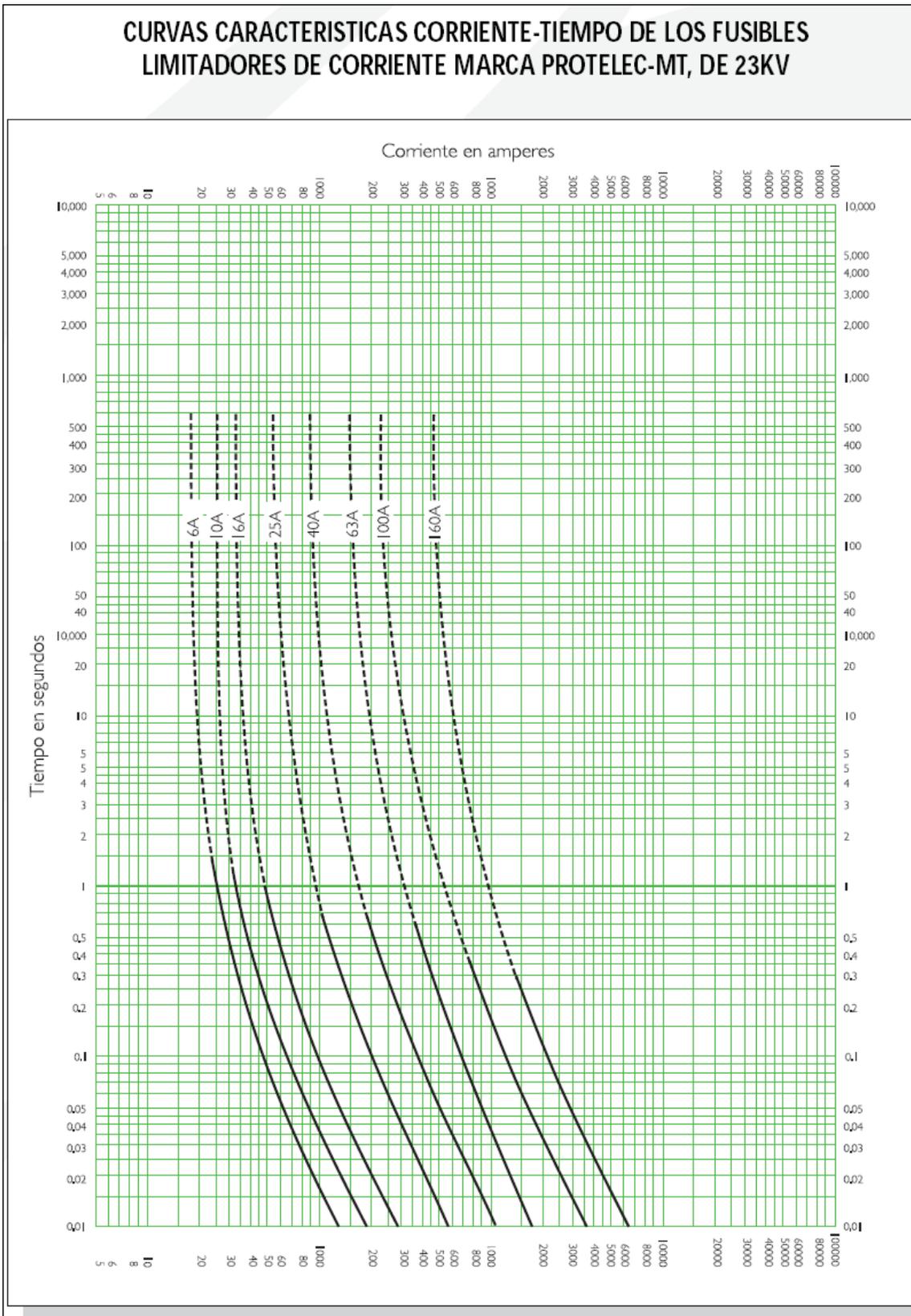


Figura 3 Tomo I. Curva de fusión de los fusibles MT

### 2.3.6 CÁLCULO LÍNEA B.T. DE TRAFOS A CUADRO DE B.T.

Adoptaremos una sección en aluminio (Al) de 3 x 240 mm<sup>2</sup> por cada fase y de 2 x 240 mm<sup>2</sup>. para el neutro, siendo la longitud de la línea de 3 metros. En el Centro de transformación 1, y de 5 metros en el Centro de Transformación 2. A continuación se realizan los cálculos de la máxima intensidad que circulará por cada una de las líneas.

La intensidad máxima que soportaran las líneas de B.T que salen de los transformadores al cuadro de B.T son similares, ya que los tres TRAFOS tienen la misma potencia nominal, y viene dada por:

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

$$I_{\text{máx}} = 630 / 1.73 \times 0.400 = 910.4 \text{ A}$$

Para las condiciones de instalación del cable, el fabricante proporciona un valor de intensidad admisible de 430 A para una sección de 240 mm<sup>2</sup> en Al.

Por lo que al ir dispuestos tres cables por cada una de las fases resulta:

$$\{ I_{\text{admisible}} = 3 \cdot 430 = 1220 \text{ A} \} > \{ I_{\text{máx}} = 910.4 \text{ A} \}$$

### SELECCIÓN DE FUSIBLES DE BAJA TENSIÓN

La salida de baja tensión del transformador acomete a un cuadro general de distribución, construido según la Recomendación UNE-21428-1. Las salidas estarán protegidas, así mismo, por los fusibles calibrados en función de la potencia demandada para cada salida. Para la demanda de potencia de nuestras líneas serán necesarios fusibles de calibre 315 A. Esto queda justificado en el TOMO II de B.T.

### **2.3.7 CALCULO DE LA RED DE TIERRA DE LOS CENTROS DE TRANSFORMACIÓN.**

A continuación vamos a ver el sistema de tierra adoptado para cada centro de transformación, detallando el método de cálculo y las alternativas para los diferentes Centros, así concluiremos con la solución tomada.

El Reglamento de Alta Tensión indica que para instalaciones de tercera categoría, y de intensidad de cortocircuito a tierra inferior o igual a 16 kA no será imprescindible realizar la citada investigación previa de la resistividad del suelo, bastando el examen visual del terreno y pudiéndose estimar su resistividad, siendo necesario medirla para corrientes superiores.

Según la investigación previa del terreno donde se instalará este Centro de Transformación, se determina la resistividad media en 150 Ohm·m.

#### **Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo correspondiente a la eliminación del defecto.**

- Tipo de neutro. El neutro de la red puede estar aislado, rígidamente unido a tierra, unido a esta mediante resistencias o impedancias. Esto producirá una limitación de la corriente de la falta, en función de las longitudes de líneas o de los valores de impedancias en cada caso. En el caso de CSE-ENDESA el régimen de neutro en MT es a tierra a través de resistencia.
- Tipo de protecciones. Cuando se produce un defecto, éste se eliminará mediante la apertura de un elemento de corte que actúa por indicación de un dispositivo relé de intensidad, que puede actuar en un tiempo fijo (tiempo fijo), o según una curva de tipo inverso (tiempo dependiente). Para el caso de redes subterráneas de distribución en MT la intensidad de defecto a tierra fijada por CSE-ENDESA es 1000 A.

No obstante, y dada la casuística existente dentro de las redes de cada compañía suministradora, en ocasiones se debe resolver este cálculo considerando la intensidad máxima empírica y un tiempo máximo de ruptura, valores que, como los otros, deben ser indicados por la compañía eléctrica.

Para el diseño preliminar de la instalación de puesta a tierra se necesitamos conocer la intensidad máxima de defecto de la compañía suministradora.

### **INTENSIDAD MÁXIMA DE DEFECTO.**

Para el cálculo de las intensidades máxima de defecto se desprecia las impedancias de las líneas y de los transformadores, por las siguientes razones:

- La impedancia de los transformadores es pequeña en relación con los valores de la resistencia o impedancia de la puesta a tierra del neutro, por lo que no se suele considerar salvo en el caso de distribuciones con neutro rígidamente conectado a tierra.
- Es criterio mantenido por las compañías suministradoras que no se considere las impedancias de las líneas en el cálculo de la intensidad de defecto a tierra. Basan dicho criterio en el hecho que una distribución eléctrica está sujeta a variaciones, con posibilidades de creación de nuevas Subestaciones de distribución. La construcción de una nueva subestación alteraría los valores de las intensidades de defecto determinadas considerando las impedancias de las líneas.

El valor de la Intensidad máxima de defecto se calcula mediante la ecuación:

$$I_{d.\max} = \frac{U/\sqrt{3}}{R_n + R_t}$$

Para una tensión de servicio de 20kV y con el neutro del transformador de la subestación está conectado mediante resistencias de 12 Ohmios, dato facilitado por la Compañía Endesa y por ser la red proveniente de la subestación una red subterránea tenemos:

$$\frac{U}{\sqrt{3}} = 11,547 \text{ V}$$

La intensidad máxima de defecto se producirá en el caso hipotético que la resistencia de la instalación que se proyecta fuese nula. Por consiguiente el valor de dichas intensidades máximas será:

$$I_{d,\max} = \frac{11,547}{12} = 962,25 \quad \text{Un solo transformador.}$$

Valores que la Compañía suministradora redondea a 1.000 A.

Conocidos los datos de partida:

- Intensidad máxima de defecto.
- Resistividad del terreno.
- Tiempo máximo de desconexión

Adoptamos un sistema de tierra para cada uno de los centros de transformación, y una vez seleccionado se realizan los cálculos comprobando que el sistema asegura una protección adecuada en la instalación.

### 2.3.7.1. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN 1.

#### Cálculo de la resistencia del sistema de tierra

Características de la red de alimentación:

- Tensión de servicio:  $U_r = 20 \text{ kV}$
- Limitación de la intensidad a tierra:  $I_{dm} = 1.000 \text{ A}$
- Tiempo máximo de desconexión:  $t = 1 \text{ s}$

Características del terreno:

- Resistividad media del terreno  $\rho_o = 150 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$

El prediseño del sistema de tierra adoptado (CONFIGURACIÓN MÁS SIMPLE) es el **sistema n°2** de **Julián Moreno Clemente** con una profundidad de enterramiento de 0,5m., y se comprueba si para este sistema el más sencillo y económico se cumplen las condiciones reglamentarias.

A continuación se muestra una tabla de los parámetros característicos de cada uno de los sistemas diseñados por este Dr. Ingeniero Industrial:

#### CUADRO RESUMEN DE PARÁMETROS

SISTEMA N°	DIMENSIONES m	N° DE PICAS $K_r$	PARÁMETROS $K_p$		
			h=0,5 m	h=0,8 m	
1	4x4	8	0.068	0.0165	0.0108
2	3x3	4	0.100	0.0226	0.0145
3	4x4	4	0.094	0.0197	0.0117
4	5x5	4	0.088	0.0176	0.0104
5	5x5	8	0.059	0.0149	0.0092
6	6x4	6	0.068	0.0159	0.0096
7	8x4	8	0.057	0.0124	0.0079
8	7x5	8	0.055	0.0137	0.0083
9	9x5	8	0.054	0.0111	0.0070
10	15	6	0.0712	0.0113	0.0079
11	15	6	0.0711	0.0113	0.0079
12	9	4	0.108	0.0165	0.0113
13	9x6	8	0.0527	0.0110	0.0070
14	11x6	8	0.0515	0.0097	0.0061

Tabla 2. Tomo I. Parámetros característicos de cada uno de los sistemas diseñados por **Julián Moreno Clemente**

Por lo que para el sistema n° 2 que ha sido el inicialmente adoptado (configuración más simple), se tiene un anillo rectangular de 3x3m, con 4 picas, y los siguientes valores de parámetros:

- $K_r=0.100$
- $K_p=0.0226$

En primer lugar se calcula la Resistencia del terreno y la Intensidad de defecto a considerar en los cálculos.

La Resistencia del terreno la calculamos mediante la expresión:

$$R_t = K_r \times \rho_o = 0.1 \times 150 = 15 \text{ ohmios}$$

La Intensidad de defecto, ya que se tienen un solo transformador en la subestación de donde parte la red de CSE-ENDESA, viene dada por:

$$I_d = \frac{11.547}{12 + R_t} = 427,66 \text{ A.}$$

### TENSIONES DE CONTACTO

Dado que en la mayoría de los casos no es posible conseguir que las tensiones de contacto se mantengan dentro de los valores reglamentarios, se recurre a la adopción de las medidas complementarias que a continuación se especifican:

- Utilización de pavimento aislante en el pasillo de tipo antideslizante y resistente a grasas y aceites, con espesor mínimo de 6 mm, de color negro, rigidez dieléctrica superior a 40 kV y resistencia de 1012 ohmios para una plancha de 30 centímetros cuadrados de superficie.
- No conexión a tierra de rejillas de ventilación y puertas. Estas últimas se pintarán interiormente con una gruesa capa de pintura aislante a base de caucho acrílico o poliéster, en el caso de que puedan resultar accesible simultáneamente para una persona las puertas y otros elementos metálicos, conectados a la tierra de protección.
- Mallazo electrosoldado en la solera.
- Dotación de una acera exterior de 1,10 m de anchura.

### TENSIONES DE PASO

Para el **sistema n°2** seleccionado se tiene:

$$\text{Tensión máxima de paso real} = K_p \cdot \rho_o \cdot I_d = 0.0226 \cdot 150 \cdot 427,66 = 1.449,77 \text{ V}$$

A continuación se comprueba si este valor es inferior a la tensión máxima admisible del terreno sin recubrir. Dicha tensión máxima admisible se calcula mediante la expresión:

$$V_p = \frac{10 \cdot K}{t^n} \left( 1 + \frac{6 \cdot \rho}{1.000} \right)$$

Para el tiempo máximo de desconexión, que la compañía Sevillana Endesa tiene fijada en 1 segundo, tenemos los valores:

- K=78,5
- n=0,18

Conocidos todos los datos resulta una tensión máxima admisible de:

$$V_{p,max}=1491,5V$$

Por lo que queda demostrado que el sistema adoptado es válido, por ser la tensión máxima de paso real inferior a la máxima admisible.

$$V_{p,max. adm.} < 1.449,77 V$$

La resistividad superficial mínima para que se cumplan las condiciones reglamentarias en cuanto a las tensiones de paso, será:

$$\rho_s = \left( \frac{K_p \rho I_d}{10K} - 1 \right) \times \frac{1.000}{6} = 141,14 \text{ ohmios} \cdot \text{metro}$$

Por tanto, al haberse previsto una acera exterior al centro de transformación, así como en su acceso, se verifican también que las tensiones reales de paso exterior y de paso en el acceso son inferiores a las máximas admisibles. La resistividad media del acerado (hormigón) es de 3000 ohmios·metro.

## **PUESTA A TIERRA DEL NEUTRO**

Con el fin de no transferir tensiones peligrosas a través del neutro a las instalaciones de

baja tensión, se dispone toma de tierra separada para el neutro del centro de transformación. La separación mínima D entre electrodos de tierras de herrajes y neutro para no transferir tensiones superiores a 1.000 V, debe ser

$$D > \frac{\rho \cdot I_d}{2 \cdot \pi \cdot 1.000} = \frac{150 \cdot 427,66}{2 \cdot \pi \cdot 1.000} = 10,21 \approx 10,5$$

Las características del neutro son las siguientes:

- Identificación: 5/32 (según método UNESA)
- Geometría: Picas alineadas
- Número de picas: tres
- Longitud entre picas: 2 metros
- Profundidad de las picas: 0,5 m

Los parámetros según esta configuración de tierras son:

- $K_r = 0,135$
- $K_c = 0,0252$

El criterio de selección de la tierra de neutro es no ocasionar en el electrodo una tensión superior a 24 V cuando existe un defecto a tierra en una instalación de BT protegida contra contactos indirectos por un diferencial de 650 mA. Para ello la resistencia de puesta a tierra de servicio debe ser inferior a 37 Ohm.

$$R_{tserv} = K_r \cdot R_o = 0,135 \cdot 150 = 20,25 < 37 \text{ Ohm}$$

Para mantener los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio independientes, la puesta a tierra del neutro se realizará con cable aislado de 0,6/1 kV, protegido con tubo de PVC de grado de protección 7 como mínimo, contra daños mecánicos.

### 2.3.7.1. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN 2.

#### Cálculo de la resistencia del sistema de tierra

Características de la red de alimentación:

- Tensión de servicio:  $U_r = 20 \text{ kV}$
- Limitación de la intensidad a tierra:  $I_{dm} = 1.000 \text{ A}$
- Tiempo máximo de desconexión:  $t = 1 \text{ s.}$

Características del terreno:

- Resistividad media del terreno  $\rho_o = 150 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$

El **prediseño** del sistema de tierra adoptado (configuración más simple) es el **sistema n°2** de Julián Moreno Clemente con una profundidad de enterramiento de 0,5m, en la Tabla 2. Tomo I. página 56, Parámetros característicos de cada uno de los sistemas diseñados por **Julián Moreno Clemente** se muestra una tabla de los parámetros característicos de cada uno de los sistemas diseñados por este Dr. Ingeniero Industrial.

Por lo que para el sistema n° 2 que ha sido el inicialmente adoptado (configuración más simple), se tiene un anillo rectangular de 3x3m, con 4 picas, y los siguientes valores de parámetros:

- $K_r=0.100$
- $K_p=0.0226$

En primer lugar se calcula la Resistencia del terreno y la Intensidad de defecto a considerar en los cálculos.

La Resistencia del terreno la calculamos mediante la expresión:

$$R_t = K_r \times \rho_o = 0.1 \times 150 = 15 \text{ ohmios}$$

La Intensidad de defecto, ya que se tienen un solo transformador en la subestación de

donde parte la red de CSE-ENDESA, viene dada por:

$$I_d = \frac{11.547}{12 + R_t} = 427,66 \text{ A.}$$

### TENSIONES DE CONTACTO

Dado que en la mayoría de los casos no es posible conseguir que las tensiones de contacto se mantengan dentro de los valores reglamentarios, se recurre a la adopción de las medidas complementarias que a continuación se especifican:

- Utilización de pavimento aislante en el pasillo de tipo antideslizante y resistente a grasas y aceites, con espesor mínimo de 6 mm, de color negro, rigidez dieléctrica superior a 40 kV y resistividad de 50 MΩ·m.
- No conexión a tierra de rejillas de ventilación y puertas. Estas últimas se pintarán interiormente con una gruesa capa de pintura aislante a base de caucho acrílico o poliéster, en el caso de que puedan resultar accesible simultáneamente para una persona las puertas y otros elementos metálicos, conectados a la tierra de protección.
- Mallazo electrosoldado en la solera.
- Dotación de una acera exterior de 1,10 m de anchura.

### TENSIONES DE PASO

Para el **sistema n°2** seleccionado se tiene:

$$\text{Tensión máxima de paso real} = K_p \cdot \rho_o \cdot I_d = 0.0226 \cdot 150 \cdot 427,66 = 1.449,77 \text{ V}$$

A continuación se comprueba si este valor es inferior a la tensión máxima admisible del terreno sin recubrir. Dicha tensión máxima admisible se calcula mediante la expresión:

$$V_p = \frac{10 \cdot K}{t^n} \left( 1 + \frac{6 \cdot \rho}{1.000} \right)$$

Para el tiempo máximo de desconexión, que la compañía Sevillana Endesa tiene fijada en 1 segundo, tenemos los valores:

- $K=78,5$
- $n=0,18$

Conocidos todos los datos resulta una tensión máxima admisible de:

$$V_{p,max}=1491,5V$$

Por lo que queda demostrado que el sistema adoptado es válido, por ser la tensión máxima de paso real inferior a la máxima admisible.

$$V_{p,max. adm.} < 1.449,77 V$$

La resistividad superficial mínima para que se cumplan las condiciones reglamentarias en cuanto a las tensiones de paso, será:

$$\rho_s = \left( \frac{K_p \rho I_d}{10K} - 1 \right) \times \frac{1.000}{6} = 141,14 \text{ ohmios}\cdot\text{metro}$$

Por tanto, al haberse previsto una acera exterior al centro de transformación, así como en su acceso, se verifican también que las tensiones reales de paso exterior y de paso en el acceso son inferiores a las máximas admisibles. La resistividad media del acerado (hormigón) es de 3000 ohmios·metro.

### **PUESTA A TIERRA DEL NEUTRO**

Con el fin de no transferir tensiones peligrosas a través del neutro a las instalaciones de baja tensión, se dispone toma de tierra separada para el neutro del centro de transformación. La separación mínima D entre electrodos de tierras de herrajes y neutro para no transferir tensiones superiores a 1.000 V, debe ser

$$D > \frac{\rho \cdot I_d}{2 \cdot \pi \cdot 1.000} = \frac{150 \cdot 427,66}{2 \cdot \pi \cdot 1.000} = 10,21 \approx 10,5$$

Las características del neutro son las siguientes:

- Identificación: 5/32 (según método UNESA)
- Geometría: Picas alineadas
- Número de picas: tres
- Longitud entre picas: 2 metros
- Profundidad de las picas: 0,5 m

Los parámetros según esta configuración de tierras son:

- $K_r = 0,135$
- $K_c = 0,0252$

El criterio de selección de la tierra de neutro es no ocasionar en el electrodo una tensión superior a 24 V cuando existe un defecto a tierra en una instalación de BT protegida contra contactos indirectos por un diferencial de 650 mA. Para ello la resistencia de puesta a tierra de servicio debe ser inferior a 37 Ohm.

$$R_{tserv} = K_r \cdot R_o = 0,135 \cdot 150 = 20,25 < 37 \text{ Ohm}$$

Para mantener los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio independientes, la puesta a tierra del neutro se realizará con cable aislado de 0,6/1 kV, protegido con tubo de PVC de grado de protección 7 como mínimo, contra daños mecánicos.

## 2.4. CONCLUSIÓN

Como puede observarse, toda la instalación descrita concuerda con lo establecido en los vigentes reglamentos de líneas de Alta Tensión y Centros de Transformación.

Con esto y los documentos que se acompañan, creemos dar una idea acertada de la instalación que se proyecta esperando ante los Organismos Oficiales sea aprobado y conseguir el permiso de enganche en precario y el Acta de Puesta en Marcha.