ÍNDICE

1 - Red de media tensión		Pág 2
2 - Centros de transformación.		6
2.1 - Cortacircuitos fusibles		15
2.2 - Dimensionado ventilación centro transformación.		16
2.3 - Red puesta a tierra centro de transformación.		17
3 - Red de baja tensión.		21
3.1 - Protecciones.		27
4 - Red de alumbrado público.		32
4.1 - Cálculos luminotécnicos.		33
4.2 - Cálculos eléctricos.		35
4.3 - Cimentaciones de los báculos.		45

1 - RED DE MEDIA TENSIÓN.

La línea de media tensión se dimensionará para soportar la carga y la caída de tensión correspondientes a los doce centros de transformación proyectados, es decir para el caso en que existiera un fallo o avería en el tramo más desfavorable y fuera necesario que el total de los centros existentes se alimentaran a través del mismo ramal. También se comprobará el criterio de intensidad de cortocircuito

La línea se dimensionará en base a las potencias nominales de los transformadores, por lo tanto la potencia total considerada, la correspondiente a los doce centros de transformación proyectados, cada uno de ellos con 2 transformadores de 630 KVA, será:

$$S_T = 12 \cdot 2 \cdot 630 = 15120 \text{ KVA}$$

En consecuencia, la intensidad que circulará por el tramo más solicitado, primer tramo de la línea, será:

$$I = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{15120}{\sqrt{3} \cdot 20} = 436,47 \text{ A}$$

De las tres secciones normalizadas para líneas de media tensión, 150, 240 y 400 mm², según se establece en las "Normas Particulares y Condiciones Técnicas de Sevillana Endesa", el criterio de intensidad admisible únicamente se cumple para la sección de 400 mm², que admite una carga en servicio permanente y en montaje bajo tubo de 440 Amperios.

A continuación se comprobará el criterio de caída de tensión en la línea de media tensión. La caída de tensión para el caso de una línea que alimenta a una única carga viene determinada por la siguiente expresión:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot [R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi] = \sqrt{3} \cdot [r \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi + x \cdot L \cdot I \cdot \sin \varphi] = K \cdot L \cdot I$$

siendo:

- R: resistencia del cable, en Ω .
- X: inductancia del cable, en Ω .
- r: resistencia por unidad de longitud del cable, en Ω/km .
- x: inductancia por unidad de longitud del cable, en Ω/km .
- L: longitud de la línea, en Km.
- I: intensidad que circula por la línea, en A.

Seguidamente se deducirá la expresión para la determinación de la caída de tensión para el caso de una línea que alimente a más de una carga y esté constituida por varios tramos.

La caída de tensión total en la línea será la suma de las caídas de tensión existentes en cada uno de los tramos, es decir:

$$\Delta U = \Delta U_{01} + \Delta U_{12} + \Delta U_{23} + \dots + \Delta U_{(M-1)M}.$$

Cada una de estas caídas de tensión en cada tramo vendrán, a su vez, dadas por:

$$\Delta U_{01} = K \cdot L_{T1} \cdot (I_{C1} + I_{C2} + \dots + I_{CM})$$

$$\Delta U_{12} = K \cdot (L_{T2} - L_{T1}) \cdot (I_{C2} + I_{C3} + \dots + I_{CM})$$

$$\Delta U_{23} = K \cdot (L_{T3} - L_{T2}) \cdot (I_{C3} + I_{C4} + \dots + I_{CM})$$

$$\Delta U_{(M-1)M} = K \cdot (L_{TM} - L_{T(M-1)}) \cdot I_{CM}$$

siendo L_{Tj} las longitudes totales desde el origen 0 a la posición que ocupa la carga J, e I_{Cj} la intensidad que demanda la carga J, para $j = 1, 2, \dots, M$.

Es decir:

$$\Delta U = K \cdot L_{T1} \cdot I_{C1} + K \cdot L_{T2} \cdot I_{C2} + K \cdot L_{T3} \cdot I_{C3} + \dots + K \cdot L_{TM} \cdot I_{CM}.$$

Poniendo esta expresión en función de las longitudes y de las intensidades que circulan por cada uno de los tramos de la línea:

$$\Delta U = K \cdot L_1 \cdot (I_1 - I_2) + K \cdot (L_1 + L_2) \cdot (I_2 - I_3) + K \cdot (L_1 + L_2 + L_3) \cdot (I_3 - I_4) + \dots + K \cdot (L_1 + L_2 + \dots + L_M) \cdot I_M.$$

$$\Delta U = K \cdot L_1 \cdot I_1 + K \cdot L_2 \cdot I_2 + \dots + K \cdot L_M \cdot I_M = K \cdot \sum_i L_i \cdot I_i$$

siendo:

- L_i : longitud de cada tramo i de línea, en Km.
- I_i : intensidad que circula por cada tramo i de línea, en A.

Los tramos de la línea tendrán, para las condiciones nominales de diseño, las siguientes solicitaciones I_i y longitudes L_i , recorriéndola desde el final hasta la subestación:

$$\text{Duodécimo tramo: } I_{12} = 36,37 \text{ A; } L_{12} = 0,149 \text{ Km.}$$

$$\text{Undécimo tramo: } I_{11} = 72,74 \text{ A; } L_{11} = 0,261 \text{ Km.}$$

$$\text{Décimo tramo: } I_{10} = 109,11 \text{ A; } L_{10} = 0,187 \text{ Km.}$$

$$\text{Noveno tramo: } I_9 = 145,48 \text{ A; } L_9 = 0,243 \text{ Km.}$$

Octavo tramo:	$I_8 = 181,85 \text{ A};$	$L_8 = 0,135 \text{ Km.}$
Séptimo tramo:	$I_7 = 218,22 \text{ A};$	$L_7 = 0,303 \text{ Km.}$
Sexto tramo:	$I_6 = 254,59 \text{ A};$	$L_6 = 0,270 \text{ Km.}$
Quinto tramo:	$I_5 = 290,96 \text{ A};$	$L_5 = 0,216 \text{ Km.}$
Cuarto tramo:	$I_4 = 327,33 \text{ A};$	$L_4 = 0,245 \text{ Km.}$
Tercer tramo:	$I_3 = 363,70 \text{ A};$	$L_3 = 0,283 \text{ Km.}$
Segundo tramo:	$I_2 = 400,07 \text{ A};$	$L_2 = 0,341 \text{ Km.}$
Primer tramo:	$I_1 = 436,44 \text{ A};$	$L_1 = 0,990 \text{ Km.}$

Así, pues, la caída de tensión existente en la línea de media tensión, calculada para esta sección de 400 mm^2 que verifica el primer criterio requerido, será la siguiente:

$$\Delta U = K \cdot \sum_1^{12} L_i \cdot I_i = 0,218 \cdot 1054,3 = 229,83V$$

La constante K, igual a 0,218, se ha obtenido para el caso de conductores unipolares de aluminio, aislamiento de polietileno reticulado (XLPE), factor de potencia 0,85 y sección del conductor 400 mm^2 , a partir de los valores proporcionados por la tabla para factores de potencia 0,8 y 1 y dichas condiciones (0,22 y 0,17), de forma equivalente a la indicada en el apartado 3 para la red de baja tensión.

Al ser esta caída de tensión hallada inferior al 5% (1000 V) la sección de 400 mm^2 cumple también el criterio de caída de tensión.

La intensidad debida a un posible cortocircuito que se produjera en la línea de media tensión de la urbanización viene determinada por la siguiente expresión y tendrá el siguiente valor:

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{500 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 14,43kA$$

siendo:

- S_{cc} : potencia de cortocircuito en la red de media tensión, 500 MVA (dato proporcionado por la compañía suministradora).
- I_{cc} : corriente de cortocircuito.
- U: tensión nominal, 20 kV.

Para la verificación del criterio frente a cortocircuitos, la intensidad de cortocircuito admisible en el conductor tiene que ser superior a la intensidad de cortocircuito calculada. La intensidad de cortocircuito que es capaz de soportar el conductor para una sección de 400 mm^2 y para un tiempo de duración del cortocircuito de 1 segundo (tiempo de corte fijado por la compañía suministradora) es igual a 40 kA. Dicha intensidad de cortocircuito se ha obtenido de la Norma

ONSE 50.53-23 E (Tabla XIII) basada en la Norma UNE 20.435. Por tanto, la sección de 400 mm² cumple también este tercer criterio exigido.

Así, pues, se concluye que la sección de 400 mm² verifica los criterios de intensidad admisible, caída de tensión y corrientes de cortocircuito, y se instalará, por tanto, una línea de 3x400 de las características especificadas en la Memoria Descriptiva.

2 - CENTROS DE TRANSFORMACIÓN.

Los transformadores se dimensionarán conforme a las potencias previstas en las respectivas redes de baja tensión que alimentan, aplicando un coeficiente de simultaneidad de 1 y dejando un margen para prever la posibilidad de atender potencias no contempladas inicialmente en el proyecto, como futuras ampliaciones de la red o un sobreequipamiento eventual.

Para la alimentación del total de viviendas de la urbanización así como de la red de alumbrado público, se ha decidido emplear transformadores de potencia 630 kVA tal como se indica en la Memoria Descriptiva. A continuación se determinará el número necesario de ellos a partir de la potencia total que se prevé alcanzar en la urbanización:

Potencia prevista urbanización: $P_{urb} = 10096,89 \text{ KW}$.

Pasando este valor a potencia aparente a partir del factor de potencia considerado (0,85):

$$S_{urb} = P_{urb} / 0,85 = 11878,69 \text{ KVA}.$$

A esta potencia se le aplicará un coeficiente de 1,25 para incrementarla y, de este modo, tener en cuenta el margen necesario en el nivel de carga de los transformadores. Es decir, la potencia total que se prevé como necesaria para una adecuada alimentación eléctrica de la urbanización será:

$$S_T = S_{urb} \cdot 1,25 = 14848,36 \text{ KVA}.$$

Dividiendo esta potencia S_T entre la potencia del transformador tipo considerado, 630 KVA, se obtiene el número de transformadores necesarios:

$$\text{Núm transf} = S_T / P_{trafo} = 14848,36 / 630 = 23,56.$$

Por lo tanto, se concluye que serán necesarios 24 transformadores de potencia 630 KVA, los cuales se distribuirán en 12 centros de transformación provistos de 2 transformadores cada uno.

El emplazamiento de los 12 centros de transformación en la urbanización se ha realizado de forma que éstos queden lo más próximo posible a los centros de gravedad de las cargas eléctricas, a fin de optimizar la red de baja tensión en cuanto a longitudes de líneas y secciones empleadas de las mismas. Asimismo, y por razones de espacio, se han elegido ubicaciones que se corresponden con las plazas y zonas verdes de los sectores de la urbanización, en donde también se han tenido en cuenta criterios de estética urbanística. La situación de los 12 centros de transformación se indica en el plano adjunto nº 2.

A continuación se muestra, para cada uno de los 12 centros de transformación proyectados, la potencia y los circuitos que se alimentan desde cada transformador, el nivel de carga de cada transformador y la potencia instalada:

Centro de Transformación 1:

Circuitos red de baja tensión que alimenta:

- Circuito C₁₋₁: 10 viviendas → Potencia = 78,2 kW.
- Circuito C₁₋₂: 9 viviendas → Potencia = 71,76 kW.
- Circuito C₁₋₃: 16 viviendas → Potencia = 115 kW.
- Circuito C₁₋₄: 18 viviendas → Potencia = 126,04 kW.
- Circuito C₁₋₅: 18 viviendas → Potencia = 126,04 kW.
- Circuito C₁₋₆: 18 viviendas → Potencia = 126,04 kW.
- Circuito C₁₋₇: 18 viviendas → Potencia = 126,04 kW.
- Circuito C₁₋₈: 18 viviendas → Potencia = 126,04 kW.

Total potencia de los circuitos que alimenta:

$$P_T = P_{C1-1} + P_{C1-2} + P_{C1-3} + P_{C1-4} + P_{C1-5} + P_{C1-6} + P_{C1-7} + P_{C1-8} = 895 \text{ kW} \rightarrow$$

$$\rightarrow S_T = P_T / \cos\phi = 895 / 0,85 = 1052,94 \text{ kVA.}$$

Potencia instalada: 2 x 630 kVA.

Transformador 1:

Circuitos: C₁₋₁, C₁₋₃, C₁₋₅, C₁₋₇.

$$\text{Total potencia: } P_{T1} = P_{C1-1} + P_{C1-3} + P_{C1-5} + P_{C1-7} = 445,28 \text{ kW} \rightarrow S_{T1} = 523,85 \text{ kVA}$$

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 83,1 %

Transformador 2:

Circuitos: C₁₋₂, C₁₋₄, C₁₋₆, C₁₋₈.

$$\text{Total potencia: } P_{T2} = P_{C1-2} + P_{C1-4} + P_{C1-6} + P_{C1-8} = 449,88 \text{ kW} \rightarrow S_{T2} = 529,27 \text{ kVA}$$

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 83,9 %.

Centro de Transformación 2:

Circuitos red de baja tensión que alimenta:

- Circuito C₂₋₁: 18 viviendas → Potencia = 126,04 kW.
- Circuito C₂₋₂: 18 viviendas → Potencia = 126,04 kW.
- Circuito C₂₋₃: 18 viviendas → Potencia = 126,04 kW.
- Circuito C₂₋₄: 16 viviendas → Potencia = 115 kW.
- Circuito C₂₋₅: 17 viviendas → Potencia = 120,5 kW.
- Circuito C₂₋₆: 18 viviendas → Potencia = 126,04 kW.
- Circuito C₂₋₇: 16 viviendas → Potencia = 115 kW.

Total potencia de los circuitos que alimenta:

$$P_T = P_{C2-1} + P_{C2-2} + P_{C2-3} + P_{C2-4} + P_{C2-5} + P_{C2-6} + P_{C2-7} = 854,68 \text{ kW} \rightarrow$$

$$\rightarrow S_T = P_T / \cos\phi = 854,68 / 0,85 = 1005,5 \text{ kVA}$$

Potencia instalada: 2 x 630 kVA.

Transformador 1:

Circuitos: C2-1, C2-2, C2-3.

Total potencia: $P_{T1} = P_{C2-1} + P_{C2-2} + P_{C2-3} = 378,12 \text{ kW} \rightarrow S_{T1} = 444,84 \text{ kVA}$.

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 70,6 %.

Transformador 2:

Circuitos: C2-4, C2-5, C2-6, C2-7.

Total potencia: $P_{T2} = P_{C2-4} + P_{C2-5} + P_{C2-6} + P_{C2-7} = 476,54 \text{ kW} \rightarrow S_{T2} = 560,6 \text{ kVA}$.

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 88,9 %.

Centro de Transformación 3:

Red B.T: 9 circuitos (véase anexo I tabla red de baja tensión CT 3).

Potencia de los circuitos que alimenta: 820,13 kW; 964,85 kVA

Potencia instalada: 2 x 630 kVA.

Transformador 1:

Circuitos: C3-3, C3-4, C3-7, C3-8.

Total potencia: $P_{T1} = 411,77 \text{ kW} \rightarrow S_{T1} = 484,43 \text{ kVA}$

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 76,8 %.

Transformador 2:

Circuitos: C3-1, C3-2, C3-5, C3-6, C3-9.

Total potencia: $P_{T2} = 408,37 \text{ kW} \rightarrow S_{T2} = 480,43 \text{ kVA}$

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 76,2 %.

Centro de Transformación 4:

Red B.T: 7 circuitos (véase anexo I tabla red de baja tensión CT 4).

Potencia de los circuitos que alimenta: 832,61 kW; 979,54 kVA.

Potencia instalada: 2 x 630 kVA.

Transformador 1:

Circuitos: C4-1, C4-3, C4-6.

Total potencia: $P_{T1} = 415,14 \text{ kW} \rightarrow S_{T1} = 488,4 \text{ kVA}$.

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 77,5 %.

Transformador 2:

Circuitos: C4-2, C4-4, C4-5, C4-7.

Total potencia: $P_{T2} = 417,47 \text{ kW} \rightarrow S_{T2} = 491,14 \text{ kVA}$.
Potencia trafo: 630 kVA.
Nivel de carga trafo: 77,9 %.

Centro de Transformación 5:

Red B.T: 6 circuitos (véase anexo I tabla red de baja tensión CT 5).
Potencia de los circuitos que alimenta: 812,36 kW; 955,71 kVA
Potencia instalada: 2 x 630 kVA.

Transformador 1:

Circuitos: C5-1, C5-3, C5-4.
Total potencia: $P_{T1} = 409,4 \text{ kW} \rightarrow S_{T1} = 481,64 \text{ kVA}$
Potencia trafo: 630 kVA.
Nivel de carga trafo: 76,4 %.

Transformador 2:

Circuitos: C5-2, C5-5, C5-6.
Total potencia: $P_{T2} = 402,96 \text{ kW} \rightarrow S_{T2} = 474,07 \text{ kVA}$
Potencia trafo: 630 kVA.
Nivel de carga trafo: 75,2 %.

Centro de Transformación 6:

Red B.T: 6 circuitos (véase anexo I tabla Red de baja tensión CT6).
Potencia de los circuitos que alimenta: 782,77 kW; 920,90 kVA.
Potencia instalada: 2 x 630 kVA.

Transformador 1:

Circuitos: C6-1, C6-2, C6-5.
Total potencia: $P_{T1} = 389,16 \text{ kW} \rightarrow S_{T1} = 457,83 \text{ kVA}$
Potencia trafo: 630 kVA.
Nivel de carga trafo: 72,7 %.

Transformador 2:

Circuitos: C6-3, C6-4, C6-6.
Total potencia: $P_{T2} = 393,76 \text{ kW} \rightarrow S_{T2} = 463,24 \text{ kVA}$
Potencia trafo: 630 kVA.
Nivel de carga trafo: 73,5 %.

Centro de Transformación 7:

Red B.T: 9 circuitos (véase anexo I tabla red de baja tensión CT 7).
Potencia de los circuitos que alimenta: 862,62 kW; 1014,84 kVA.
Potencia instalada: 2 x 630 kVA.

Transformador 1:

Circuitos: C7-1, C7-3, C7-4, C7-6.
Total potencia: $P_{T1} = 433,32 \text{ kW} \rightarrow S_{T1} = 509,78 \text{ kVA}$.
Potencia trafo: 630 kVA.
Nivel de carga trafo: 80,9 %.

Transformador 2:

Circuitos: C7-2, C7-5, C7-7, C7-8, C7-9.

Total potencia: $P_{T2} = 429,3 \text{ kW} \rightarrow S_{T2} = 505,05 \text{ kVA}$.

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 80,1%.

Centro de Transformación 8:

Red B.T: 8 circuitos (véase anexo I tabla red de baja tensión CT 8).

Potencia de los circuitos que alimenta: 824,32 kW; 969,78 kVA.

Potencia instalada: 2 x 630 kVA.

Transformador 1:

Circuitos: C8-1, C8-2, C8-6, C8-8.

Total potencia: $P_{T1} = 411,24 \text{ kW} \rightarrow S_{T1} = 483,81 \text{ kVA}$

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 76,7 %.

Transformador 2:

Circuitos: C8-3, C8-4, C8-5, C8-7.

Total potencia: $P_{T2} = 413,08 \text{ kW} \rightarrow S_{T2} = 485,97 \text{ kVA}$.

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 77,1 %.

Centro de Transformación 9:

Red B.T: 9 circuitos (véase anexo I tabla red de baja tensión CT 9).

Potencia de los circuitos que alimenta: 940,36 kW ; 1106,3 kVA

Potencia instalada: 2 x 630 kVA.

Transformador 1:

Circuitos: C9-1, C9-2, C9-3, C9-6.

Total potencia: $P_{T1} = 468,28 \text{ kW} \rightarrow S_{T1} = 550,91 \text{ kVA}$.

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 87,4 %.

Transformador 2:

Circuitos: C9-4, C9-5, C9-7, C9-8, C9-9.

Total potencia: $P_{T2} = 472,08 \text{ kW} \rightarrow S_{T2} = 555,38 \text{ kVA}$.

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 88,1 %.

Centro de Transformación 10:

Red B.T: 8 circuitos (véase anexo I tabla red de baja tensión CT 10).

Potencia de los circuitos que alimenta: 806,84 kW; 949,22 kVA

Potencia instalada: 2 x 630 kVA.

Transformador 1:

Circuitos: C10-1, C10-3, C10-4, C10-7.

Total potencia: $P_{T1} = 402,96 \text{ kW} \rightarrow S_{T1} = 474,07 \text{ kVA}$

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 75,2 %.

Transformador 2:

Circuitos: C10-2, C10-5, C10-6, C10-8.

Total potencia: $P_{T2} = 403,88 \text{ kW} \rightarrow S_{T2} = 475,15 \text{ kVA}$

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 75,4%.

Centro de Transformación 11:

Red B.T: 6 circuitos (véase anexo I tabla red de baja tensión CT 11).

Potencia de los circuitos que alimenta: 793,04 kW; 932,98 kVA

Potencia instalada: 2 x 630 kVA.

Transformador 1:

Circuitos: C11-1, C11-4, C11-5.

Total potencia: $P_{T1} = 397,44 \text{ kW} \rightarrow S_{T1} = 467,57 \text{ kVA}$

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 74,2 %.

Transformador 2:

Circuitos: C11-2, C11-3, C11-6.

Total potencia: $P_{T2} = 395,64 \text{ kW} \rightarrow S_{T2} = 465,45 \text{ kVA}$

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 73,9%.

Centro de Transformación 12:

Red B.T: 8 circuitos (véase anexo I tabla red de baja tensión CT 12).

Potencia de los circuitos que alimenta: 872,16 kW; 1026,07 kVA

Potencia instalada: 2 x 630 kVA.

Transformador 1:

Circuitos: C12-1, C12-3, C12-5, C12-7.

Total potencia: $P_{T1} = 436,08 \text{ kW} \rightarrow S_{T1} = 513,03 \text{ kVA}$.

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 81,4 %.

Transformador 2:

Circuitos: C12-2, C12-4, C12-6, C12-8.

Total potencia: $P_{T2} = 436,08 \text{ kW} \rightarrow S_{T2} = 513,03 \text{ kVA}$.

Potencia trafo: 630 kVA.

Nivel de carga trafo: 81,4%.

2.1 - Cortacircuitos fusibles.

Los fusibles de la celda de protección de los transformadores se elegirán, al ser la potencia de todos los transformadores 630 kVA y la tensión de media 20 kV, de calibre o amperaje 63 A, tal

como se indica en las Normas Particulares y Condiciones Técnicas y de Seguridad de Sevillana Endesa en la tabla correspondiente. Dichos fusibles serán del tipo limitador de corriente de alto poder de ruptura (A.P.R.) produciéndose su fusión antes de que la corriente de cortocircuito haya alcanzado su valor máximo. Además de soportar la intensidad nominal en servicio continuo, tienen que permitir el paso de la punta de corriente producida en la conexión del transformador en vacío.

La cresta de intensidad de conexión del transformador vendrá dada por el producto del parámetro π_e , el cual para la potencia de los transformadores considerada (630 KVA) será igual a 12, por la intensidad nominal del devanado de alta tensión, es decir:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{630 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 18,18 A$$

$$I_{conexiónCRESTA} = \pi_e \cdot I_n = 12 \cdot 18,18 = 218,2 A$$

Por tanto, los fusibles seleccionados de las celdas de protección tendrán que presentar una curva de fusión I-t tal que no se produzca el disparo ante esta intensidad de conexión para el instante que se produzca el pico de corriente.

2.2 - Dimensionado de la ventilación del centro de transformación.

Para determinar la superficie de la rejilla de entrada de aire de cada transformador se empleará la siguiente expresión:

$$S_e = \frac{W_{Cu} + W_{Fe}}{0,24 \cdot K \cdot \sqrt{h \cdot \Delta T^3}}$$

siendo:

- W_{Cu} : pérdidas existentes en los devanados del transformador, en el cobre, 6,5 kW.
- W_{Fe} : pérdidas en el hierro del transformador, 1,3 kW.
- K : coeficiente en función de la forma de la reja de entrada, aproximadamente 0,40.
- h : distancia vertical existente entre el plano medio de los huecos de entrada y salida de aire (véase plano adjunto nº 4, vista alzado posterior), 1,8 m.
- ΔT : incremento de temperatura del aire entre entrada y salida, se tomará 15 °C.
- S_e : superficie mínima de la reja de entrada (m^2).

Así, pues, sustituyendo en la expresión anterior resulta:

$$S_e = \frac{6,5 + 1,3}{0,24 \cdot 0,40 \cdot \sqrt{1,8 \cdot 15^3}} = 1,04 m^2$$

La superficie de la rejilla de salida de aire de cada transformador será:

$$S_s = \frac{S_e}{0,92} = 1,087 \cdot 1,04 = 1,13 m^2$$

2.3 - Redes de puesta a tierra del centro de transformación.

Red de puesta a tierra de protección:

Los datos de partida para el dimensionado de la red de puesta a tierra de protección del centro de transformación son los siguientes:

- Intensidad máxima admisible de defecto: $I_d = 300 \text{ A}$.
- Tiempo de desconexión en subestación: $t = 1 \text{ seg.}$ (retardo de tiempo del relé en la subestación igual a 1 segundo).
- Resistividad del terreno: $\rho = 150 \Omega \text{ m}$.
- Resistividad superficial hormigón: $\rho' = 3000 \Omega \text{ m}$.
- Nivel de aislamiento de las instalaciones de baja tensión del centro: $V_{BT} = 8000 \text{ V}$.
- Puesta a tierra del neutro: $R_n = 30 \Omega$; $X_n = 0 \Omega$.
- Intensidad de arranque del relé: $I'_a = 50 \text{ A}$.

Los datos correspondientes a la intensidad máxima admisible de defecto y a los parámetros R_n y X_n de la puesta a tierra del neutro han sido proporcionados por la compañía suministradora.

Parámetros:

- $n = 0,18$; para tiempo de desconexión $3 \geq t > 0,9 \text{ seg.}$
- $K = 78,5$ para tiempo de desconexión $3 \geq t > 0,9 \text{ seg.}$

A continuación se hallarán la resistencia máxima de la puesta a tierra de las masas del centro y la intensidad de defecto, las cuales vendrán determinadas por el siguiente sistema de dos ecuaciones: $I_d \cdot R_t \leq V_{BT}$;

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2}}$$

siendo:

- U : tensión de servicio media tensión, 20 KV.
- I_d : intensidad de defecto.

- R_t : resistencia de la puesta a tierra de las masas del centro.

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtienen los siguientes valores:

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\left(R_n + \frac{V_{BT}}{I_d}\right)^2}} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot \left(30 + \frac{8000}{I_d}\right)} \rightarrow$$

$$I_d = \frac{\left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right) - 8000}{30} = 118 A ;$$

$$R_t = \frac{V_{BT}}{I_d} = \frac{8000}{118} = 67,7 \Omega ;$$

A continuación se seleccionará la configuración del electrodo de entre los existentes en el documento de UNESA “Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación”.

El parámetro de resistencia del electrodo empleado, K_r , tiene que verificar la siguiente condición:

$$K_r \leq R_t / \rho \rightarrow K_r \leq 67,7 / 150 = 0,451 \Omega/\Omega \cdot m \rightarrow K_r \leq 0,451 \Omega/\Omega \cdot m.$$

Por tanto, y según las tablas del citado documento, se elegirá el electrodo de puesta a tierra de código 80-40/5/82, el cual está compuesto de 8 picas de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro clavadas a una profundidad de 0,5 metros y dispuestas en un rectángulo de dimensiones 8 x 4m (véase plano adjunto nº 16). Dicho electrodo es el que más se ajusta a las dimensiones exteriores del centro de transformación y cumple el criterio exigido. Los parámetros característicos del electrodo elegido son los siguientes:

- Parámetro de resistencia: $K_r = 0,065 \Omega/\Omega \cdot m$.
- Parámetro de tensión de paso: $K_p = 0,0134 V/\Omega \cdot m$.
- Parámetro de tensión de contacto exterior: $K_c = 0,0284 V/\Omega \cdot m$.

La resistencia del sistema de puesta a tierra será, para dicho electrodo elegido, por tanto:

$$R'_t = K_r \cdot \rho = 0,065 \cdot 150 = 9,75 \Omega$$

La Intensidad de defecto vendrá dada por la siguiente expresión:

$$I'_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R'_t + R_n)^2}} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(9,75 + 30)^2}} = 290,49 A$$

La tensión de defecto se determinará de la siguiente manera:

$$V'_d = R'_t \cdot I'_d = 9,75 \cdot 290,49 = 2832,2V$$

Esta tensión de defecto calculada deberá ser inferior al nivel de aislamiento de las instalaciones de baja tensión del centro, $V_{BT} = 8000 V$. Es decir: $V'_d \leq V_{BT}$.

A continuación se hallarán la tensión de paso en el exterior del centro (V'_p) y la tensión de paso en el acceso al centro (V'_{pacc}) las cuales vendrán dadas a partir de las siguientes expresiones:

$$V'_p = K_p \cdot \rho \cdot I'_d = 0,0134 \cdot 150 \cdot 290,49 = 583,88V$$

$$V'_{pacc} = K_c \cdot \rho \cdot I'_d = 0,0284 \cdot 150 \cdot 290,49 = 1237,48V$$

Estas tensiones de paso y de paso en el acceso calculadas tienen que ser inferiores a las tensiones de paso exterior y de acceso al centro admisibles reglamentariamente, que se determinan mediante las siguientes expresiones:

Tensión de paso en el exterior (sólo terreno):

$$V_p = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot \rho}{1000}\right) = \frac{10 \cdot 78,5}{1^{0,18}} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 150}{1000}\right) = 1491,5V$$

Tensión de paso en el acceso al centro de transformación (terreno y hormigón):

$$V_{pacc} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot \rho + 3 \cdot \rho'}{1000}\right) = \frac{10 \cdot 78,5}{1^{0,18}} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot 150 + 3 \cdot 3000}{1000}\right) = 8203,25V$$

Así, pues, el electrodo de tierra elegido cumple las condiciones requeridas:

$$\begin{array}{ll} V'_d \leq V_{BT} ; & V'_p \leq V_p \cdot \\ V'_{pacc} \leq V_{pacc} ; & I'_d > I'_a \cdot \end{array}$$

Para evitar tensiones de contacto, tanto exteriores como interiores, así como tensiones de paso interior, por un lado, las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar bajo tensión debido a algún fallo o avería que pudiera producirse; y, por otro lado, en el interior del centro de transformación se instalará un mallazo cubierto de una capa de hormigón de 10 cm, el cual irá conectado a la puesta a tierra de protección. Por lo tanto no será necesario el cálculo de las tensiones de contacto ni de la de paso interior.

A continuación se determinará la separación mínima que deberá existir entre el sistema de puesta a tierra de protección y el de puesta a tierra de servicio:

$$D = \frac{\rho \cdot I' d}{2000 \cdot \pi} = \frac{150 \cdot 290,49}{2000 \cdot \pi} = 6,93m$$

3 - RED DE BAJA TENSIÓN.

La intensidad que circulará por cada uno de los circuitos de la red de baja tensión proyectada se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi}$$

siendo:

- P: potencia correspondiente al circuito (W).
- V: tensión de línea en baja tensión, 400 V.
- $\cos \varphi$: factor de potencia, 0,85.

Los cables irán enterrados a una profundidad mínima de 0,60 m bajo acera y 0,80 m bajo calzada, e irán bajo tubo en todo su recorrido (véase plano adjunto nº 9). El terreno tendrá una temperatura de 25°C y una resistividad térmica de 1K·m/W. Los circuitos estarán constituidos por conductores unipolares de aluminio con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE). Las intensidades máximas admisibles para estas condiciones para las secciones empleadas en la red de baja tensión de 150 y 240 mm² son, las que se indican a continuación:

- Sección 150 mm² → Intensidad máxima admisible = 264 A.
- Sección 240 mm² → Intensidad máxima admisible = 344 A.

Estas intensidades han sido obtenidas del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, Instrucción BT-07, Tabla 4: “Intensidad máxima admisible, en amperios, para cables con conductores de aluminio en instalación enterrada (servicio permanente)”, tras la consiguiente aplicación del factor de corrección de 0,8 al ir los cables en montaje bajo tubo.

La potencia prevista para cada vivienda de la urbanización será 9,2 kW, la correspondiente a una electrificación elevada, es decir con previsión de uso de sistemas de aire acondicionado o de calefacción eléctrica o con una superficie útil de la vivienda mayor de 160 m², tal como se especifica en el Reglamento Electrotécnico de B.T. en la instrucción BT-10. La carga total correspondiente a un conjunto de viviendas se obtendrá multiplicando la media aritmética de las potencias previstas en cada vivienda (9,2 kW) por el coeficiente de simultaneidad a considerar según el número de viviendas contempladas. Los coeficientes de simultaneidad vienen especificados en la tabla 1:

Número viv (n)	Coefficiente de Simultaneidad	Número viv (n)	Coefficiente de Simultaneidad
1	1	12	9,9
2	2	13	10,6
3	3	14	11,3
4	3,8	15	11,9
5	4,6	16	12,5
6	5,4	17	13,1
7	6,2	18	13,7
8	7	19	14,4
9	7,8	20	14,8
10	8,5	21	15,3
11	9,2	n > 21	15,3 + (n-21)·0,5

Tabla 1: Coeficientes de simultaneidad según número de viviendas

Por ejemplo, para un conjunto de 23 viviendas la potencia a considerar será:

$$P = 9,2 \cdot (15,3 + 1) = 149,96 \text{ kW}$$

En el cálculo y dimensionado de la red de baja tensión se ha previsto que las acometidas a las viviendas de la urbanización sean trifásicas. Para el grado de electrificación considerado, electrificación elevada (9,2 kW), es práctica común en las empresas distribuidoras de energía prever suministros trifásicos (nótese que la potencia media contratada en el ámbito de Sevillana de Electricidad, dato suministrado por el departamento comercial de la Compañía, es de 3,8 kW) y más aún para viviendas unifamiliares de superficie igual a 175 m² (a partir de 150 m² se requieren aparatos acondicionadores de aire trifásicos de 6000 W aproximadamente para un correcto servicio). Así mismo con la acometida trifásica, en un momento dado, se permite al usuario instalar receptores trifásicos (acumuladores de calor, termos eléctricos instantáneos, acondicionadores de aire de más de 4000 W etc.) sin necesidad de realizar nuevas obras, nuevas instalaciones de acometida ni nuevos contratos de suministro. Se trata, pues, de una instalación

con previsión de futuro inmediato. Además los suministros trifásicos reducen la intensidad de las acometidas en 1/3 respecto a los monofásicos, extremo que incide en la calidad del servicio de las viviendas, ya que las intensidades altas provocan más averías en los puntos débiles de las instalaciones (conectores, bornes, etc.).

La caída de tensión existente en un circuito con una sola carga se determina aplicando la expresión:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot [R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi] = \sqrt{3} \cdot [r \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi + x \cdot L \cdot I \cdot \sin \varphi] = K \cdot L \cdot I$$

siendo:

- R: resistencia del cable, en Ω .
- X: inductancia del cable, en Ω .
- r: resistencia por unidad de longitud del cable, en Ω/km .
- x: inductancia por unidad de longitud del cable, en Ω/km .
- K =

$\sqrt{3} \cdot [r \cdot \cos \phi + x \cdot \sin \phi]$: constante obtenida en tablas para el cálculo de la caída de tensión.

- L_i : longitud de la línea, en Km.
- I_i : intensidad que circula por la línea, en A.

Para el caso de tratarse de una línea con más de una carga y distintos tramos, la expresión para el cálculo de la caída de tensión (de forma equivalente a la deducción realizada en el apartado 1 para la línea de media tensión) se extiende a:

$$\Delta U = K \cdot \sum_i L_i \cdot I_i$$

siendo:

- L_i : longitud de cada tramo i de línea de baja tensión, en Km.
- I_i : intensidad que circula por cada tramo i de línea de baja tensión, en A.

La constante K utilizada en el cálculo de la caída de tensión, ha sido obtenida a partir de la tabla correspondiente para el caso de conductores unipolares de aluminio, aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) y factor de potencia 0,85. Los valores para las secciones empleadas en la red de baja tensión de 150 mm² y 240 mm² son los siguientes:

Sección 150 mm² → K = 0,46.

Sección 240 mm² → K = 0,302.

Estos valores de la constante K, para factor de potencia 0,85, se han obtenido a partir de los valores de la constante proporcionados por la tabla para los casos de factores de potencia 0,8 y 1 en las mismas condiciones. En el caso de la sección de 240 mm², por ejemplo, el cálculo se realizará de la siguiente manera:

Expresión de la constante: $K_{\phi} = \sqrt{3} \cdot [r \cdot \cos \phi + x \cdot \sin \phi]$

Valores de la tabla:

Para $\cos \phi = 0,8 \rightarrow K = 0,30$.

Para $\cos \phi = 1 \rightarrow K = 0,27$.

En primer lugar se hallarán los valores de los parámetros r y x del cable de aluminio de la sección considerada, resolviendo para ello el sistema de dos ecuaciones planteadas para factores de potencia 0,8 y 1:

$$\text{Para } \cos \phi = 0,8 \rightarrow 0,30 = \sqrt{3} \cdot [r \cdot 0,8 + x \cdot (\sin 38,87^\circ)];$$

$$\text{Para } \cos \phi = 1 \rightarrow 0,27 = \sqrt{3} \cdot r;$$

resolviendo el sistema:

$$r = \frac{0,27}{\sqrt{3}} = 0,1558 \text{ } \Omega/\text{Km};$$

$$x = \frac{1}{0,6} \cdot \left[\frac{0,30}{\sqrt{3}} - (0,1558 \cdot 0,8) \right] = 0,080 \text{ } \Omega/\text{Km};$$

Posteriormente, sustituyendo en la expresión de la constante, se obtiene el valor de K para factor de potencia 0,85:

$$K_{0,85} = \sqrt{3} \cdot [(0,1558 \cdot 0,85) + (0,080 \cdot 0,5267)] = 0,302.$$

Para todos los circuitos de la red, la sección elegida tendrá que cumplir los criterios de intensidad máxima admisible y caída de tensión. Es decir, la intensidad que circule por cada circuito tendrá que ser inferior a la intensidad máxima admisible para la sección correspondiente elegida, y la caída de tensión existente entre el origen y cualquier punto de la instalación tendrá que ser inferior a la máxima admisible, 5 % (20 V; tensión nominal de la red 400 V). Todos los circuitos de la red de baja tensión de la urbanización tendrán estructura de sección uniforme.

A continuación se procede al dimensionado de uno de los circuitos de la red de baja tensión, el circuito C_{1-4} , que parte del centro de transformación número 1 y alimenta a 18 viviendas pertenecientes a la zona A de la urbanización, cuyo esquema se indica en la figura nº 3. En primer lugar se aplicará a dicho circuito el criterio de intensidad admisible y posteriormente el de caída de tensión.

La carga correspondiente a cada uno de los distintos tramos del circuito C_{1-4} se hallará a partir del número de viviendas que alimenta. Recorriendo la línea desde el último tramo (el más alejado al centro de transformación) al primero, las solicitudes para cada tramo son las siguientes:

Noveno tramo:	2 viviendas	→ P = 18,4 kW	→ I = 31,24 A.
Octavo tramo:	4 viviendas	→ P = 34,96 kW	→ I = 59,36 A.
Séptimo tramo:	6 viviendas	→ P = 49,68 kW	→ I = 84,36 A.
Sexto tramo:	8 viviendas	→ P = 64,4 kW	→ I = 109,36 A.
Quinto tramo:	10 viviendas	→ P = 78,2 kW	→ I = 132,79 A.
Cuarto tramo:	12 viviendas	→ P = 91,08 kW	→ I = 154,66 A.
Tercer tramo:	14 viviendas	→ P = 103,96 kW	→ I = 176,53 A.
Segundo tramo:	16 viviendas	→ P = 115 kW	→ I = 195,28 A.
Primer tramo:	18 viviendas	→ P = 126,04 kW	→ I = 214,03 A.

La intensidad que circula por el tramo más cargado, es decir, por el tramo más próximo al centro de transformación será:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{126040}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,85} = 214,03 A$$

Por lo tanto, el criterio de intensidad admisible se verifica para ambas secciones de 150 y 240 mm² empleadas en la red de baja tensión.

Seguidamente se procederá a hallar la caída de tensión existente en dicho circuito C₁₋₄, en primer lugar para una sección de 150 mm², primera sección que cumple el criterio anterior.

Al ser esta caída de tensión obtenida inferior al 5 % (20 V), caída máxima admisible, la sección de 150 mm² cumple también este criterio de caída de tensión. Por tanto, se instalará para el circuito analizado C₁₋₄ una línea de 3x150 + 1x95 al ser dicha sección la más pequeña entre las normalizadas para la red de baja tensión que verifica ambos criterios exigidos.

3.1 - Protecciones.

Cada una de las líneas de la red de baja tensión se protegerá, según se ha indicado en la Memoria Descriptiva, mediante cortacircuitos fusibles de alto poder de ruptura, ubicados en el cuadro de baja tensión (un fusible para cada fase), de calibre adecuado para la protección de la línea frente a sobrecargas y cortocircuitos. Al tener todos y cada uno de los 91 circuitos de la red de baja tensión de la urbanización estructura de sección uniforme no será necesario ninguna protección adicional a éstas para ningún circuito.

Para la protección de los circuitos frente a sobrecargas, el calibre o intensidad nominal del fusible tendrá que cumplir, según norma UNE 20-460, las siguientes dos condiciones:

$$I_b \leq I_n \leq I_z; \quad I_2 \leq 1,45 \cdot I_z;$$

siendo:

- I_b : intensidad de diseño, intensidad que se toma como base para dimensionar el circuito. Se tomará $I_b = I_e$, siendo I_e la intensidad de empleo, es decir, la intensidad que circula por la línea en cuestión en condiciones normales de utilización.

- I_n : intensidad nominal o calibre del fusible.

- I_z : intensidad máxima admisible que puede circular por el cable para una sección determinada.

- I_2 : intensidad convencional de funcionamiento del dispositivo de protección. Para el caso de un fusible: $I_2 = 1,6 \cdot I_n$.

Es decir, la segunda condición quedaría de la siguiente manera:

$$1,6 \cdot I_n \leq 1,45 \cdot I_z ; \quad \text{o bien:} \quad I_n \leq 0,90 \cdot I_z;$$

Para el caso del circuito C_{1-4} :

Primera condición:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \rightarrow 214,03 \leq I_n \leq 264.$$

Según esta primera condición se elegiría un fusible de calibre 250 A.

Al aplicar la segunda condición requerida se llegaría a:

$$1,6 \cdot I_n \leq 1,45 \cdot I_z \rightarrow I_n \leq 1,45 \cdot 264 / 1,6 \rightarrow I_n \leq 239,25 \text{ A.}$$

Es decir, no habría ningún fusible entre la gama existente (160, 200, 250, 315 A,...) que verificara ambas condiciones. Por consiguiente, la única solución sería emplear el fusible de calibre 250 A y adoptar para el circuito la siguiente sección normalizada para las redes de distribución de baja tensión (240 mm^2). No obstante, debido al incremento elevado en los costes que ello supondría, se ha creído conveniente para el caso del circuito considerado, así como para algunos más de secciones 150 mm^2 que se encuentran en la misma situación, no aplicar en todo su rigor esta segunda condición y, por lo tanto, emplear, en estos casos, el fusible de calibre 250 A para dicha sección de 150 mm^2 , ya que, en todo caso, la línea queda protegida puesto que la fusión de los fusibles tendría lugar antes de la saturación de los cables correspondientes (en vez de actuar al 90% de la intensidad admisible del cable, lo haría al 94%, ya que $I_n/I_z = 0,94$).

Para la protección frente a cortocircuitos es necesario que se cumpla que el poder de corte del dispositivo de protección empleado sea superior a la máxima corriente de cortocircuito prevista en la instalación a proteger, así como también es necesario que se verifique el criterio de tiempo de corte, es decir, el tiempo de actuación del dispositivo (t_{corte}) tiene que ser inferior al tiempo de calentamiento admisible por el conductor ($t_{\text{calentamiento}}$):

$$\begin{aligned} PC &> I_{cc \text{ max}} \\ t_{\text{corte}} &< t_{\text{calentamiento}} \end{aligned}$$

El criterio del tiempo de corte también se puede expresar en términos de la integral de Joule de tal forma:

$$(I^2 \cdot t)_{\text{Dispositivo}} \leq (I^2 \cdot t)_{\text{admisible}} = (K \cdot S)^2$$

es decir, el valor de la integral de joule que el dispositivo de protección deja pasar desde que el cortocircuito se establece hasta que éste actúa, tiene que ser inferior al valor máximo de la integral de Joule que puede soportar el conductor.

A continuación se determina la intensidad máxima de cortocircuito que ve el dispositivo de protección:

La intensidad máxima de cortocircuito que tiene que proteger el fusible será la que se produce justo a la salida del cuadro general de baja tensión, es decir, al comienzo de cada circuito. Para determinarla habrá que considerar la impedancia de la red aguas arriba y la impedancia del transformador. A continuación se hallan dichas impedancias según el método indicado en la norma UNE 21.239: "Cálculo de corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna".

La impedancia de la red aguas arriba (Z_Q) vendrá dada por la siguiente expresión:

$$Z_Q = \frac{c \cdot U_{NQ}^2}{S''_{KQ}} = \frac{1,1 \cdot (20 \cdot 10^3)^2}{500 \cdot 10^6} = 0,88\Omega$$

siendo:

- U_{NQ} : tensión de línea de la red en vacío, 20 kV.
- S''_{KQ} : potencia de cortocircuito simétrica inicial, 500 MVA.
- c : factor de tensión, 1,10 (Norma CEI 38 tabla 3).

A continuación se determinan las partes resistiva e inductiva de la impedancia de la red aguas arriba, R_Q y X_Q respectivamente:

$$R_Q = 0,1 \cdot Z_Q = 0,088\Omega ;$$

$$X_Q = 0,995 \cdot Z_Q = 0,8756\Omega ;$$

pasando Z_Q al lado de baja tensión se obtiene:

$$Z_{QBT} = \frac{Z_Q}{r_t^2} = \frac{0,088 + 0,8756j}{\left(\frac{20}{0,4}\right)^2} = 0,00176 + 0,0175j\Omega$$

: La impedancia del transformador (Z_T) se hallará a partir de la siguiente expresión:

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100} \cdot \frac{U_{rt}^2}{S_{rt}} = \frac{5}{100} \cdot \frac{400^2}{(630 \cdot 10^3)} = 0,01269\Omega$$

siendo:

- u_{kr} : tensión de cortocircuito asignada al transformador, 5 %.
- U_{rt} : tensión compuesta asignada al transformador lado de baja, 400 V.
- S_{rt} : potencia aparente asignada al transformador, 630 kVA.

A continuación se calcula la parte resistiva (R_T) de dicha impedancia del transformador, la cual vendrá dada por:

$$R_T = \frac{P_{krt}}{3 \cdot I_{rt}^2} = \frac{6500}{3 \cdot 909,33^2} = 0,00262\Omega$$

siendo:

- P_{krt} : pérdidas totales en los devanados del transformador, 6500 W.
- I_{rt} : corriente asignada del transformador lado de baja, obtenida como:

$$I_{rt} = \frac{S_{rt}}{\sqrt{3} \cdot U_{rt}} = \frac{(630 \cdot 10^3)}{\sqrt{3} \cdot 400} = 909,33A$$

La parte inductiva de dicha impedancia (X_T) tendrá el siguiente valor:

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{0,01269^2 - 0,00262^2} = 0,0124\Omega$$

Por tanto la impedancia del transformador será:

$$Z_T = 0,00262 + 0,0124j\Omega$$

Así, pues, la intensidad de cortocircuito a la salida del cuadro de baja tensión será:

$$I_{cc \max} = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot (Z_{QBT} + Z_T)} = \frac{1 \cdot 400^0}{\sqrt{3} \cdot 0,03022^{81,66}} = 7641,9^{81,66} A$$

A continuación se hallará el tiempo de calentamiento para el circuito referido C_{1-4} , de sección 150 mm^2 , considerando para el cálculo la intensidad de cortocircuito máxima que se pudiera producir en el tramo protegido, para obtener, de este modo, un tiempo de calentamiento menor y estar, por tanto, más del lado de la seguridad.

$$t_{\text{calentamiento}} = \frac{K^2 \cdot S^2}{I_{cc \text{ max}}^2} = \frac{8927 \cdot 150^2}{8065,8^2} = 3,08s$$

La constante K^2 , empleada en el cálculo del tiempo de calentamiento del cable e igual a 8927, se ha tomado de la fórmula de calentamiento adiabático de un cable ante un cortocircuito (Norma UNE 21.145) para el caso de conductores de aluminio con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE).

Al ser el poder de corte de los fusibles elegidos, Crady tipo gG, 100 kA, y el tiempo de actuación del dispositivo de protección del orden de 0,01 ó 0,05 segundos, se concluirá que el fusible elegido cumple ambos criterios y, por tanto, protege eficazmente el circuito considerado frente a cortocircuitos.

Del mismo modo que se ha realizado el dimensionado y protección del circuito C_{1-4} , se ha procedido para el resto de los 91 circuitos que conforman la red de baja tensión de la urbanización. Las intensidades, caídas de tensión existentes, secciones elegidas y calibre de las protecciones empleadas para las demás líneas, se indican en las tablas (una para cada centro de transformación) que se adjuntan en el Anexo 1, realizadas mediante el programa EXCEL. Los esquemas de los circuitos de la red de baja tensión se muestran en los planos adjuntos nº 17, 18 y 19.

4 - RED DE ALUMBRADO PÚBLICO.

Dado el nivel de iluminación y la anchura de las calles de la urbanización se emplearán para el alumbrado público las siguientes luminarias:

- Luminaria Indalux serie Viento IVH clase I con equipo eléctrico para doble iluminación y lámpara de descarga de vapor de sodio de alta presión de 150 W de 15000 lúmenes montadas sobre báculos de 10 m de altura.
- Luminaria Indalux serie Quebec IQC clase I con equipo eléctrico para doble iluminación y lámpara de descarga de vapor de sodio de alta presión de 100 W de 10000 lúmenes montadas sobre báculos de 6 m de altura.

4.1 - Cálculos luminotécnicos.

A continuación se realizará el cálculo luminotécnico de un vial tipo de la urbanización mediante el programa para estudios de iluminación INDALWIN V4.2. El vial tipo estará formado, como se indica en la figura del viario que proporciona el programa, por 8 metros de calzada, y por 3 metros de acera y 2 metros de aparcamiento a ambos lados de la calzada. La disposición elegida para las luminarias será al tresbolillo con una interdistancia entre ellas de 18 m y una altura de 10 m.

El programa proporciona, tal como se puede apreciar en el Anexo III, las vistas en alzado y en planta del viario, las matrices de iluminación en lux y de luminancias en cd/m^2 en la calzada, los valores de iluminancias y luminancias, así como las uniformidades obtenidas y las gráficas de iluminación en 3D, en isolíneas y en grises. Se ha utilizado un factor de mantenimiento de 0,8 y un factor de reflexión de 0,07.

Así, pues, los resultados que arroja el programa para una iluminación del vial con las luminarias seleccionadas, serie Viento IVH, son los que se muestran a continuación:

Iluminancia mínima: $E_{\min} = 11,43 \text{ lux}$.
Iluminancia máxima: $E_{\max} = 36,04 \text{ lux}$.
Iluminancia media: $E_m = 25,65 \text{ lux}$.
Iluminancia media en servicio: $E_{ms} = 20,52 \text{ lux}$.
Uniformidad media: $U_m = E_{\min} / E_m = 0,45$.

Luminancia media: $L_m = 1,66 \text{ cd/m}^2$.
Luminancia mínima: $L_{\min} = 1,19 \text{ cd/m}^2$.
Luminancia máxima: $L_{\max} = 2,17 \text{ cd/m}^2$.
Luminancia media en servicio: $L_{ms} = 1,33 \text{ cd/m}^2$.
Uniformidad general: $U_g = L_{\min} / L_m = 0,72$.

A continuación se comprobará que estos valores resultantes cumplen la normativa vigente. Los parámetros mínimos de iluminancia, luminancia y uniformidad para viarios interurbanos de zonas residenciales con un tráfico rodado normal son los siguientes:

Iluminancia media en servicio = 18 lux.
Uniformidad media = 0,40.
Luminancia media en servicio = 1,1 cd/m^2 .
Uniformidad general = 0,40.

Al ser los valores obtenidos superiores en todos los casos a los mínimos requeridos según normativa, se concluirá que las luminarias elegidas serie Viento IVH de 150 W y 15000 lúmenes son válidas para la iluminación de las calles de la urbanización.

Seguidamente se comprobará la validez de las luminarias serie Quebec IQC, empleadas para la iluminación de las zonas peatonales y jardines y zonas verdes interiores a las zonas A, B, D, E, F, G, H, I y J.

Los resultados proporcionados por el programa, los cuales también se muestran en el Anexo III, para dicha luminaria son los que se indican a continuación:

Iluminancia mínima: $E_{\min} = 0,66 \text{ lux}$.
Iluminancia máxima: $E_{\max} = 51,20 \text{ lux}$.
Iluminancia media: $E_m = 8,48 \text{ lux}$.
Iluminancia media en servicio: $E_{ms} = 6,79 \text{ lux}$.
Uniformidad media: $U_m = E_{\min} / E_m = 0,08$.

Luminancia media: $L_m = 0,53 \text{ cd/m}^2$.
Luminancia mínima: $L_{\min} = 0,06 \text{ cd/m}^2$.
Luminancia máxima: $L_{\max} = 3,22 \text{ cd/m}^2$.
Luminancia media en servicio: $L_{ms} = 0,42 \text{ cd/m}^2$.
Uniformidad general: $U_g = L_{\min} / L_m = 0,10$.

La normativa establece como valores requeridos de nivel medio de iluminancia E_m y de nivel mínimo de iluminancia $E_{\min}$ para estas zonas los siguientes:

$E_m = 3,0 \text{ lux}$
 $E_{\min} = 0,6 \text{ lux}$.

Así, pues, al ser los valores obtenidos superiores a los mínimos requeridos, se concluye que las luminarias serie Quebec IQC son válidas para la iluminación de estas zonas.

4.2 - Cálculos eléctricos.

Para todos los circuitos de la red de alumbrado público la carga se considerará 1,8 veces la potencia en vatios de las lámparas existentes en el circuito. La máxima caída de tensión admisible entre el origen de la instalación y cualquier otro punto será igual al 3 % (12 V). La intensidad que circule por cada circuito en condiciones normales tendrá que ser inferior a la máxima intensidad

admisible para la sección correspondiente. Cada una de las lámparas de la red de alumbrado estarán compensadas de tal manera que el factor de potencia considerado será de 0,90.

La intensidad de circulación para cada circuito se obtendrá aplicando la expresión:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi}$$

siendo:

- P: potencia correspondiente al circuito (W).
- V: tensión de línea en baja tensión, 400 V.
- $\cos \phi$: factor de potencia, 0,90.

Las intensidades máximas admisibles para conductores de cobre con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) y bajo tubo, para los cables empleados en la red de alumbrado de secciones 6, 10 y 16 mm² son las que se especifican a continuación:

Sección 6 mm² → $I_{\max \text{ adm}} = 57,6 \text{ A}$.
Sección 10 mm² → $I_{\max \text{ adm}} = 76,8 \text{ A}$.
Sección 16 mm² → $I_{\max \text{ adm}} = 100 \text{ A}$.

Dichos valores han sido obtenidos del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, Instrucción BT-07, Tabla 5: “Intensidad máxima admisible, en amperios, para cables con conductores de cobre en instalación enterrada (servicio permanente)”, tras la aplicación del correspondiente factor de corrección de 0,8 al ir los cables en montaje bajo tubo.

La caída de tensión existente en un circuito que alimente a una única carga vendrá dada por la expresión:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot [R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi] = \sqrt{3} \cdot [r \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi + x \cdot L \cdot I \cdot \sin \varphi] = K \cdot L \cdot I$$

siendo:

- R: resistencia del cable de la red de alumbrado, en Ω .
- X: inductancia del cable de la red de alumbrado, en Ω .
- r: resistencia por unidad de longitud del cable, en Ω/km .
- x: inductancia por unidad de longitud del cable, en Ω/km .
- $K = \sqrt{3} \cdot [r \cdot \cos \phi + x \cdot \sin \phi]$: constante obtenida en tablas para el cálculo de la caída de tensión.
- L_i : longitud de la línea, en Km.
- I_i : intensidad que circula por la línea, en A.

En caso de tratarse de una línea con más de una carga y distintos tramos, la expresión para el cálculo de la caída de tensión, realizando la misma deducción que la indicada en el apartado 1 de esta Memoria de Cálculo, se extiende a:

$$\Delta U = K \cdot \sum_i L_i \cdot I_i$$

siendo:

- L_i : longitud de cada tramo i de línea de la red de alumbrado, en Km.
- I_i : intensidad que circula por cada tramo i de línea de la red de alumbrado, en A.

La constante K se ha obtenido para el caso de conductores unipolares de cobre, aislamiento de polietileno reticulado y factor de potencia 0,90, mediante un procedimiento análogo al llevado a cabo en el apartado 3 para la red de baja tensión, a partir de los valores facilitados por la tabla para factores de potencia 0,8 y 1, y presenta el siguiente valor para cada una de las secciones utilizadas:

- Sección $6 \text{ mm}^2 \rightarrow K = 6,06..$
- Sección $10 \text{ mm}^2 \rightarrow K = 3,68.$
- Sección $16 \text{ mm}^2 \rightarrow K = 2,34.$

Como los receptores de los circuitos de la red de alumbrado son monofásicos se determinará la caída de tensión del circuito correspondiente agrupando dichos receptores en conjuntos de tres y considerando que éste está situado en la posición del más alejado respecto al origen del circuito.

A continuación se procede al dimensionado y protección de uno de los circuitos de la red de alumbrado, el C_{a3-2} (circuito número 2 de la red de alumbrado del centro de transformación nº 3), así como, de la línea que va desde este centro de transformación hasta la caja general de protección y de la que va desde la caja general de protección hasta el equipo de medida y cuadro de mando y protección.

El circuito C_{a3-2} , tal como se puede apreciar en el plano adjunto nº 10, alimenta a 18 luminarias de potencia 150 W pertenecientes a las zonas B y C de la urbanización. En primer lugar se le aplicará al circuito el criterio de intensidad admisible y posteriormente el de caída de tensión.

La potencia prevista será:

$$P = 18 \cdot 1,8 \cdot 150 = 4860W$$

por tanto la intensidad que va a circular por el circuito será:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{4860}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,90} = 7,79A$$

Es decir, el criterio de intensidad admisible se verifica para cualquier sección a partir de la mínima utilizada de 6 mm².

A continuación se aplicará al circuito el criterio de caída de tensión. El esquema del circuito analizado, una vez agrupadas las cargas monofásicas en grupos de 3 y situadas en la posición de la más alejada.

Recorriendo la línea desde el final hasta el centro de transformación que alimenta al circuito cada tramo tendrá la siguiente sollicitación:

Sexto tramo (longitud 101 m):	18 luminarias	→ P = 4860 W	→ I = 7,79 A;
Quinto tramo:	15 luminarias	→ P = 4250 W	→ I = 6,81 A;
Cuarto tramo:	12 luminarias	→ P = 3240 W	→ I = 5,20 A;
Tercer tramo:	9 luminarias	→ P = 2430 W	→ I = 3,90 A;
Segundo tramo:	6 luminarias	→ P = 1620 W	→ I = 2,60 A;
Primer tramo:	3 luminarias	→ P = 810 W	→ I = 1,30 A;

El criterio de caída de tensión se expresará en función de la caída máxima admisible en el circuito ($\Delta U_{\max}$) del modo siguiente:

$$\Delta U_{\max} \geq K \cdot \left[\sum_i L_i \cdot I_i \right]$$

Es decir, el criterio se verificará para toda sección cuya constante K cumpla la anterior desigualdad.

Siendo:

$$\Delta U_{\max} = 12 \text{ V.}$$

$$\sum_i L_i \cdot I_i = 0,101 \cdot 1,30 + 0,108 \cdot 2,60 + 0,1 \cdot 3,90 + 0,12 \cdot 5,2 + 0,12 \cdot 6,81 + 0,117 \cdot 7,79 = 3,154$$

sustituyendo en la expresión:

$$12 \geq K \cdot 3,154 \rightarrow K \leq 12 / 3,154 \rightarrow K \leq 3,804 \rightarrow S \geq 10 \text{ mm}^2.$$

Es decir, este segundo criterio de caída de tensión se cumplirá para cualquier sección a partir de la de 10 mm^2 . Por lo tanto, se concluye, que se instalará dicho cable de sección 10 mm^2 para el circuito C_{a3-2} al ser ésta la sección mínima que verifica ambos criterios requeridos.

La caída de tensión existente en el circuito C_{a3-2} será por lo tanto:

$$\Delta U = K \cdot \sum_i L_i \cdot I_i = 3,68 \cdot 3,1547 = 11,61V$$

Para la línea que parte del centro de transformación número 3 y que va hasta la caja general de protección se emplearán conductores unipolares de aluminio del mismo tipo que los utilizados para la red de baja tensión de dicho centro. Para dimensionar ésta línea, L_1 (véase plano adjunto nº 16), y la línea de alimentación, L_2 (ya con conductores de cobre), que va desde la caja general de protección hasta el equipo de medida y el cuadro de mando y protección, se tendrá en cuenta el total de la potencia de los circuitos de la red de alumbrado para el centro de transformación. Así, para la red de alumbrado del centro de transformación número 3 se tiene:

C_{a3-1} : número de luminarias: 22 de 150 W $\rightarrow$ Potencia: $P_{a3-1} = 5940 \text{ W}$.

C_{a3-2} : número de luminarias: 18 de 150 W $\rightarrow$ Potencia: $P_{a3-2} = 4860 \text{ W}$.

C_{a3-3} : número de luminarias: 19 de 150 W $\rightarrow$ Potencia: $P_{a3-3} = 5130 \text{ W}$.

C_{a3-4} : número de luminarias: 8 de 100 W $\rightarrow$ Potencia: $P_{a3-4} = 1440 \text{ W}$.

Total potencia L_1 y L_2 : $P_T = 5940 + 4860 + 5130 + 1440 = 17370 \text{ W}$.

La intensidad que circula por ambas líneas, L_1 y L_2 , será por lo tanto:

$$I = \frac{P_T}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{17370}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,90} = 27,86A$$

Es decir, el criterio de intensidad admisible se verificará para cualquier sección empleada a partir de las mínimas admisibles de 6 mm^2 para los cables de cobre (intensidad máxima admisible 57,6 A) y de 16 mm^2 para los de aluminio (intensidad máxima admisible 77,6 A).

A continuación se comprobará el criterio de caída de tensión en estas líneas L_1 y L_2 , las cuales tienen una longitudes de 6 y 1m respectivamente ($l_1 = 6\text{m}$, $l_2 = 1\text{m}$). La caída máxima admisible desde el origen de la instalación de alumbrado (centro de transformación correspondiente) hasta cualquier punto de la instalación será del 3%, 12 V. La caída de tensión para los circuitos que parten del cuadro de mando y protección, tal como se indica en el Anexo II en la tabla correspondiente al centro de transformación nº 3, son las siguientes:

$$C_{a3-1}: \text{ Sección } 16 \text{ mm}^2 \rightarrow \Delta U = 8,44 \text{ V.}$$

$$C_{a3-2}: \text{ Sección } 10 \text{ mm}^2 \rightarrow \Delta U = 11,61 \text{ V.}$$

$$C_{a3-3}: \text{ Sección } 10 \text{ mm}^2 \rightarrow \Delta U = 11,49 \text{ V.}$$

$$C_{a3-4}: \text{ Sección } 6 \text{ mm}^2 \rightarrow \Delta U = 8,01 \text{ V.}$$

La máxima caída se produce en el circuito C_{a3-2} . En consecuencia, la máxima caída de tensión que podrá existir entre el centro de transformación y el cuadro de mando y protección de alumbrado, es decir, a lo largo de estas líneas L_1 y L_2 , será igual a la máxima admisible en la instalación (12 V) menos la caída en dicho circuito:

$$\Delta U_{\max L1-L2} = 12 - 11,61 = 0,39 \text{ V}$$

Al ser la longitud de la línea L_1 seis veces mayor que la de la línea L_2 se tratará en el dimensionado de ambas líneas que L_1 tenga la menor sección posible dentro de las distintas posibilidades existentes. A continuación se hallará esta sección mínima que debe tener dicha línea L_1 determinándola, para ello, como si la caída máxima admisible en ella fuera la máxima admisible en las dos líneas L_1 y L_2 (0,39 V):

$$\Delta U_{\max L1} \geq K \cdot L_1 \cdot I_1 \rightarrow 0,39 \geq K \cdot 0,006 \cdot 27,86 \rightarrow K \leq 2,33 \rightarrow S_{L1} \geq 35 \text{ mm}^2.$$

Es decir, para una sección menor de la de 35 mm^2 la caída existente en L_1 ya sobrepasaría a la máxima admisible a lo largo de L_1 y L_2 . Por consiguiente, se elige la sección de 35 mm^2 para la línea L_1 , cuya caída de tensión será:

$$\Delta U_{L1} = K \cdot L_1 \cdot I_1 = 1,76 \cdot 0,006 \cdot 27,86 = 0,295 \text{ V.}$$

En consecuencia, la caída máxima que podrá existir en la línea L_2 será:

$$\Delta U_{\max L2} = 0,39 - 0,295 = 0,095 \text{ V.}$$

Para lo cual la línea L_2 deberá tener la siguiente sección:

$$\Delta U_{\max L_2} \geq K \cdot L_2 \cdot I_2 \rightarrow 0,095 \geq K \cdot 0,001 \cdot 27,86 \rightarrow K \leq 3,40 \rightarrow S_{L_2} \geq 16 \text{ mm}^2.$$

Por tanto, se elige la sección de 16 mm^2 para la línea L_2 que presenta una caída de tensión de:

$$\Delta U_{L_2} = K \cdot L_2 \cdot I_2 = 2,34 \cdot 0,001 \cdot 27,86 = 0,065 \text{ V}$$

La caída existente en las dos líneas, L_1 y L_2 , será, como se muestra a continuación, inferior a la máxima admisible:

$$\Delta U_{L_1-L_2} = \Delta U_{L_1} + \Delta U_{L_2} = 0,295 + 0,065 = 0,36 < \Delta U_{\max L_1-L_2}$$

Por tanto, se concluye que se instalará una línea de 35 mm^2 de aluminio desde el centro de transformación hasta la caja general de protección y una de cobre de 16 mm^2 desde la caja general de protección hasta el equipo de medida y cuadro de mando y protección.

Los valores de la constante K para las distintas secciones analizadas anteriormente, de aluminio y de cobre, se han obtenido, para factor de potencia 0,90, a partir de los valores de la constante proporcionados por la tabla para factores de potencia 0,8 y 1, de forma análoga a la realizada en el apartado 3 de esta Memoria de Cálculo. Dichos valores son los siguientes:

Cobre:	$S = 6 \text{ mm}^2 \rightarrow K = 6,06.$	Aluminio:	$S = 25 \text{ mm}^2 \rightarrow K = 2,43.$
	$S = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow K = 3,68.$		$S = 35 \text{ mm}^2 \rightarrow K = 1,76.$
	$S = 16 \text{ mm}^2 \rightarrow K = 2,34.$		

Por otro lado, cada uno de los circuitos de la red de alumbrado se protegerá en el origen, en el cuadro de mando y protección de alumbrado, por interruptores magnetotérmicos unipolares del calibre adecuado (uno en cada fase). Para una protección eficaz del circuito, según norma UNE 20-460, el calibre o intensidad nominal del interruptor (I_n) tiene que estar comprendido entre la intensidad que va a circular por el circuito en cuestión en condiciones normales de funcionamiento (I_c) y la intensidad máxima admisible por el cable (I_z). Además, es necesario que la intensidad convencional de funcionamiento del dispositivo de protección (I_2) no sea superior a 1,45 veces la intensidad máxima admisible por el cable.

Es decir:

$$I_c \leq I_n \leq I_z; \quad I_2 \leq 1,45 I_z;$$

Al ser, para el caso de interruptores magnetotérmicos, la intensidad convencional del dispositivo de protección igual a 1,45 veces el calibre del interruptor, $I_2 = 1,45 I_n$, esta segunda condición se reduce a $I_n \leq I_z$ no expresando, por lo tanto, nada distinto a la primera.

Para el circuito C_{a3-2} : sección $10 \text{ mm}^2 \rightarrow I_z = 76,8 \text{ A}$ (indicado en la página 36).

$$I_c \leq I_n \leq I_z \rightarrow 7,79 \text{ A} \leq I_n \leq 76,8 \text{ A} \rightarrow \text{calibre del magnetotérmico: } I_n = 16 \text{ A}.$$

Cada uno de estos circuitos estará protegido también mediante un interruptor diferencial tetrapolar. Como se puede observar en dicho plano adjunto nº 16 en el esquema del cuadro de mando y protección de la red del centro de transformación número 3, cada diferencial se ha proyectado de forma que proteja a dos circuitos de la red de alumbrado. Para una correcta protección del circuito el calibre del diferencial tiene que ser mayor que el calibre del magnetotérmico que tiene aguas abajo, $I_{D} > I_{M}$, y además tiene que ser capaz de soportar la intensidad correspondiente a ambos circuitos.

Se elige, por lo tanto, un interruptor diferencial 4x40 A de sensibilidad 300 mA.

Además, el interruptor magnetotérmico general del cuadro de mando y protección se dimensionará de modo que sea capaz de soportar la carga correspondiente a todos los circuitos que parten de dicho cuadro.

$$\begin{aligned} C_{a3-1}: P = 5940 \text{ W} \rightarrow I = 9,52 \text{ A} \rightarrow \text{Calibre magnetotérmico: } 16 \text{ A} \\ C_{a3-2}: P = 4860 \text{ W} \rightarrow I = 7,79 \text{ A} \rightarrow \text{Calibre magnetotérmico: } 16 \text{ A} \\ C_{a3-3}: P = 5130 \text{ W} \rightarrow I = 8,22 \text{ A} \rightarrow \text{Calibre magnetotérmico: } 16 \text{ A} \\ C_{a3-4}: P = 1440 \text{ W} \rightarrow I = 2,31 \text{ A} \rightarrow \text{Calibre magnetotérmico: } 6 \text{ A} \end{aligned}$$

Así, pues, se elige un interruptor tetrapolar de calibre 40 Amperios.

Así mismo, los fusibles ubicados en la caja general de protección (véase plano adjunto nº 16) tendrán la misión de proteger la línea L_2 , que va desde la caja general de protección al equipo de medida y cuadro de mando y protección, así como también al equipo de medida, y serán del siguiente calibre:

$$\begin{aligned} \text{Línea } L_2: \text{ sección } 16 \text{ mm}^2 \rightarrow I_z = 100 \text{ A (indicado en página 36).} \\ I_c \leq I_n \leq I_z \rightarrow 27,86 \leq I_n \leq 100 \rightarrow \text{Calibre del fusible: } 40 \text{ A.} \end{aligned}$$

Para un correcto funcionamiento selectivo entre los fusibles situados en la caja general de protección y el interruptor magnetotérmico general del cuadro de mando y protección aguas abajo la curva I-t del fusible tendrá que estar por encima de la curva I-t del magnetotérmico para cualquier intensidad. Además, también será necesario que existan entre ambas curvas I-t referidas unas separaciones en tiempo mínimas de 1 segundo en la zona de sobrecargas y de 70 milisegundos en la zona de cortocircuitos.

Del mismo modo que se ha procedido en el dimensionado y protección del circuito C_{a3-2} y de la red de alumbrado correspondiente al centro de transformación número 3, se realizará para los restantes circuitos de la red de alumbrado de la urbanización. Las intensidades, caídas de tensión existentes, secciones utilizadas y calibre de las protecciones empleadas se muestran en las tablas que se adjuntan (una para la red de alumbrado de cada centro de transformación) en el Anexo II, realizadas mediante el programa EXCEL. Los esquemas de los cuadros de mando y protección para las redes de alumbrado de los centros 4, 7 y 9 son iguales que el indicado en el plano

adjunto nº 16 pero con las características correspondientes de los dispositivos las indicadas en el Anexo II en cada caso.

4.3 - Cimentaciones de los báculos.

Las columnas de las luminarias irán ancladas mediante 4 pernos en cimentaciones constituidas por bloques de hormigón, de forma prismática, de las dimensiones que se determinarán a continuación empleando el método de cálculo de Sulzberger:

- Báculos de altura 10 m para luminarias serie Viento IVH:

Columna:

Diámetro de la base: $D = 0,285$ m.

Diámetro de la cogolla: $d = 0,076$ m.

Altura de la columna: $H = 10$ m.

Peso: $P_1 = 70$ Kg.

Luminaria:

Ancho: $r = 0,34$ m.

Largo: $t = 0,73$ m.

Alto: $s = 0,295$ m.

Peso: $P_2 = 11,6$ kg.

Cimentación:

Profundidad: $h = 1,1$ m.

Anchura: $a = 0,9$ m.

Longitud: $b = 0,9$ m.

El esfuerzo del viento sobre la columna de la luminaria vendrá dado por la siguiente expresión:

$$F_1 = 100 \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{D+d}{2} \cdot H \right) = 63 \text{Kg}$$

El esfuerzo del viento sobre la luminaria se obtiene de la siguiente manera:

$$F_2 = 100 \cdot 0,6 \cdot s \cdot t = 21,2 \text{Kg}$$

Peso luminaria, columna y cimentación: $G = 2238$ Kg.

Tangente de ángulo máximo de giro: $\text{tg } \alpha = 0,01$.

Coefficiente compresibilidad terreno: $C_b = 8$ Kg/cm³.

Método de Sulzberger:

$$M_v = F_1 \cdot \left(H + \frac{2 \cdot h}{3} \right) + F_2 \cdot \left(H + \frac{2 \cdot h}{3} + \frac{s}{2} \right)$$

$$M_s = b \cdot h^3 \cdot C_b \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{36}$$

$$M_b = 0,4 \cdot G \cdot a$$

$$M_e = M_s + M_b$$

siendo:

- M_v : momento de vuelco (m Kg).
- M_s : momento de rozamiento de la base del bloque (m Kg).
- M_b : momento de aplastamiento de tierras (m Kg).
- M_e : momento estabilizador (m Kg).

Para que las dimensiones de la cimentación sean válidas se deberá cumplir la siguiente condición:

$$\frac{M_e}{M_v} > 3,5$$

Sustituyendo en las expresiones se obtienen los siguientes resultados:

$$M_v = 908 \text{ m Kg}; \quad M_s = 2662 \text{ m Kg}; \quad M_b = 806 \text{ m Kg}; \quad M_e = 3468 \text{ m Kg};$$

$$M_e / M_v = 3,82 > 3,5$$

- Báculos de altura 6 m para luminarias serie Quebec IQC :

Columna:

Diámetro de la base: $D = 0,17 \text{ m}$.

Diámetro de la cogolla: $d = 0,05 \text{ m}$.

Altura de la columna: $H = 6 \text{ m}$.

Peso: $P_1 = 31 \text{ Kg}$.

Luminaria:

Ancho: $r = 0,475$ m.

Largo: $t = 0,517$ m.

Alto: $s = 0,340$ m.

Peso: $P_2 = 7,2$ kg.

Cimentación:

Profundidad: $h = 0,8$ m.

Anchura: $a = 0,7$ m.

Longitud: $b = 0,7$ m.

Esfuerzo del viento sobre columna: $F_1 = 23$ Kg.

Esfuerzo del viento sobre luminaria: $F_2 = 17,6$ Kg.

Peso luminaria, columna y cimentación: $G = 987$ Kg.

Tangente de ángulo máximo de giro: $\text{tg } \alpha = 0,01$.

Coefficiente compresibilidad terreno: $C_b = 8$ Kg/cm³.

Sustituyendo en las ecuaciones del método de Sulzberger se obtienen los siguientes valores:

$$M_v = 269 \text{ m Kg}; \quad M_s = 796 \text{ m Kg}; \quad M_b = 276 \text{ m Kg}; \quad M_e = 1073 \text{ m Kg};$$

$$M_e / M_v = 3,99 > 3,5$$

Así, pues, se concluye que las dimensiones de las cimentaciones son válidas tanto para los báculos de 10 m como para los de 6 m.

-PROYECTO ELECTRIFICACIÓN EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN URBANIZACIÓN DE 1500 VIVIENDAS -
- MEMORIA DE CÁLCULO -

Sevilla, a 12/6/2005.

Ignacio Cilleros Manrique.

-PROYECTO ELECTRIFICACIÓN EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN URBANIZACIÓN DE 1500 VIVIENDAS -
- MEMORIA DE CÁLCULO -