



TRABAJO FINAL DE GRADO



PROGRAMA DE ACTUACIÓN INTEGRADA DEL SECTOR URBANIZABLE TERCIARIO SUZ-5 EN ALBALAT DELS SORELLS (VALENCIA). ALTERNATIVA TÉCNICA

ANTEPROYECTO DE URBANIZACIÓN

ANEJO DE RED DE
ALUMBRADO PÚBLICO

Autor: ANTONIO JESÚS PIERA MORA

Tutor: JOSÉ LUIS MIRALLES GARCÍA

173 – GRADO DE INGENIERÍA CIVIL

CURSO 2017/18 (SEPTIEMBRE 2018)

Índice

- 2.8) Red de alumbrado público.
 - 2.8.1) Normativa de aplicación.
 - 2.8.2) Infraestructuras existentes.
 - 2.8.3) Criterios generales de diseño.
 - 2.8.4) Fuente de luz.
 - 2.8.5) Cálculos eléctricos.
 - 2.8.5.1) Red de alimentación.
 - 2.8.5.2) Nomenclatura.
 - 2.8.5.3) Fórmulas.
 - 2.8.5.4) Cálculos.
 - 2.8.6) Tipo de soportes y luminarias.
 - 2.8.7) Sistema de alimentación eléctrica, mando y protección.

2.8. RED DE ALUMBRADO PÚBLICO

2.8.1.NORMATIVA DE APLICACIÓN

La normativa básica sobre suministro eléctrico es la que aquí se expone:

- Reglamento (CE) 245/2009, de 18 de marzo, por el que se aplica la Directiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para lámparas fluorescentes sin balastos integrados, para lámparas de descarga de alta intensidad y para balastos y luminarias que puedan funcionar con dichas lámparas, y se deroga la Directiva 2000/55/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
- RD 842/2002, de 2 de agosto: “Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias”.
- RD 2642/1985, sobre homologación de columnas y báculos.
- RD 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones Técnicas Complementarias EA-01 a EA-07.
- RD 1369/2007, de 19 de octubre, relativo al establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía.
- Orden 16/5/89 que contiene especificaciones técnicas sobre columnas y báculos.
- Orden 12/6/89 por la que se establece la certificación de conformidad a normas como alternativa de la homologación de columnas y báculos de alumbrado exterior y señalización de tráfico.
- RD 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Normas Particulares de Iberdrola.
- Normas UNE y Recomendaciones UNESA que sean de aplicación.
- Ordenanzas Municipales y Organismos Públicos afectados.

2.8.2.INFRAESTRUCTURAS EXISTENTES

Como ya se ha dicho previamente, la única infraestructura eléctrica existente en la zona es la línea eléctrica de media tensión que atraviesa el sector y que debe ser convenientemente soterrada a la hora de acometer la urbanización del mismo.

2.8.3. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

Los criterios generales de diseño de la red de alumbrado público serán los que se indican en el Artículo 55 de las Normas Urbanísticas del PGOU de Albalat dels Sorells. Dichos criterios son los que se exponen a continuación:

- Las cargas eléctricas mínimas serán de $1,5 \text{ W} / \text{m}^2\text{s}$.
- Las farolas habrán de ser, como mínimo, de las mismas características que las presentes en las zonas más próximas.
- Los conductores tendrán, en sus tramos subterráneos, una sección mínima de 6 mm^2 , mientras que en los tramos exteriores dicha sección será como mínimo de $2,5 \text{ mm}^2$, contando en todo caso con un aislamiento de al menos 1 KV.
- Dichos conductores se encontrarán protegidos frente a la humedad y a la intemperie.
- Las derivaciones no han de originar tracción mecánica sobre las cajas de derivación.
- El dimensionamiento de la red se realizará siguiendo los criterios de intensidad máxima admisible y de caída de tensión.
- Las columnas, brazos, soportes o demás elementos metálicos fácilmente accesibles, se encontrarán conectados directamente a tierra.
- Las luminarias tendrán que incorporar un sistema compensador de energía reactiva, con valores de corrección por encima de las limitaciones impuestas por la normativa en vigor.
- En actuaciones sobre suelo urbanizable, la red estará dotada de un sistema de captación solar fotovoltaica para la producción de energía eléctrica, con capacidad para alimentar al menos el 30% de la potencia total instalada.

2.8.4. FUENTE DE LUZ

En lo que respecta a las características de los focos o luminarias que han de colocarse sobre la superficie viaria del sector, al margen de las indicadas previamente, cabe citar que su disposición se realizará en la medida de lo posible sobre las aceras y junto a los bordillos, y en la cantidad y distancia entre ellas que resulte adecuada para satisfacer las necesidades de visibilidad de la superficie viaria y de los espacios públicos. En el caso de la zona verde, se hará lo propio colocando las luminarias en los laterales de las superficies de acceso peatonal a la misma. La altura de dichas luminarias irá igualmente en consonancia con esas necesidades de visibilidad, siendo tanto mayor cuanto mayor sea la anchura de vial sobre la que actúan o de la zona sobre la que se ubican, y teniendo en cuenta además la presencia o no de árboles en zonas contiguas a su emplazamiento. En función de esto último, las posibles alturas de estos puntos de luz son los siguientes:

Tipo arbolado	Altura punto luz – h – (m)
Bajo	$h \geq 12$
Alto	$h \leq 10$
Inexistente	$h \geq 8$

Existen tres posibles distribuciones de los puntos de luz a lo largo de los viales: unilateral (todas las luminarias ubicadas en un mismo lado de dicho vial), tresbolillo (ubicación alterna de luminarias en ambos lados, de tal forma que cada una de ellas se sitúa frente al punto medio entre otras dos del lado opuesto) y pareada (ubicación enfrentada entre puntos de luz a ambos lados), y la elección de cada tipo de distribución vendrá dada por la relación entre la anchura viaria y la altura de dichos puntos de luz, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Disposición	Relación anchura / altura (a / h)
Unilateral	$a / h \leq 1$
Tresbolillo	$1 < a / h \leq 1,5$
Pareada	$a / h > 1,5$

Por tanto, de la primera tabla se extrae que en los viales de 16 m de ancho, la altura de las luminarias habrá de ser de al menos 8 m dado que no se tendrá arbolado, en tanto que en los viales de 10 m de ancho dicha altura tendrá que ser ampliada hasta un mínimo de 12 m al ser necesario que la luz cubra toda la anchura viaria, incluida la de las franjas viarias ajardinadas. Por otra parte, según lo expresado en la segunda, se optaría por una disposición pareada en los viales de ancho completo (16 m) y por una disposición unilateral en los de ancho reducido (10 m), siendo lógico esto último al no existir acera donde emplazarlas en el lado izquierdo de los mismos. En el caso de la zona verde, la disposición de las luminarias se realizará en puntos estratégicos de la misma sobre los espacios peatonales habilitados en su interior.

Así mismo, se establece que en el ámbito de la actuación las lámparas que se ubicarán en las luminarias serán, en principio, de vapor de sodio de alta presión (VSAP), como es habitual en el alumbrado viario en general y en el de Albalat dels Sorells en particular, aunque podría estudiarse la posibilidad de implantar en su lugar lámparas tipo LED por su economía. La potencia de las lámparas VSAP también dependerá por lo general de su disposición en los viales y del ancho de éstos, quedando expresada posteriormente en los cálculos, al igual que la distancia entre puntos de luz y el número de los mismos.

2.8.5. CÁLCULOS ELÉCTRICOS

2.8.5.1. RED DE ALIMENTACIÓN

La alimentación de la red de alumbrado público tendrá lugar a partir de uno de los centros de transformación ubicados para las derivaciones en BT de la red eléctrica, concretamente el CT2 (que se corresponde con el más céntrico del sector, dado que ello permite que la corriente recorra menores distancias para abastecer a todo el sector, reduciendo de esta forma la caída de tensión de dicha red). El conjunto de cables que se deriva de esta nueva red también discurrirá en BT, siendo el trazado de los mismos en el que se muestra en el correspondiente Plano 3.14, denominado “Planta de la red de alumbrado público”, de tal manera que se ubicarán bajo todos los tramos de aceras que forman parte de la actuación, a una distancia, medida respecto al eje de las conducciones, de unos 0,8 m respecto del borde de dichas aceras, y a una profundidad de unos 0,5 m respecto de su superficie. Igualmente, se tendrá un circuito en el interior de la zona verde, ubicado bajo las vías accesibles peatonalmente a una profundidad también de 0,5 m. Estos cables serán de cobre con una sección de 6 mm² (ver cálculos posteriores), con aislamiento y cubierta de PVC (que será estable frente a la humedad y la intemperie), y de tensión nominal 0,6/1 kV (según Norma UNE) y designación de tipo VV.

2.8.5.2. NOMENCLATURA

El número de luminarias que habrá que disponer para cubrir las necesidades de visibilidad nocturna en el sector, así como la separación entre las mismas, vendrá dado en función de una serie de parámetros luminotécnicos definidos en el Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones Técnicas Complementarias EA-01 a EA-07. El significado, nomenclatura y rango de valores de estos parámetros serán los que expresan a continuación:

- Flujo luminoso (Φ_L): potencia emitida por una fuente luminosa en forma de radiación visible y evaluada según su capacidad de producir sensación luminosa, teniendo en cuenta la variación de la sensibilidad del ojo con la longitud de onda, y medida en lúmenes (lm).
- Intensidad luminosa (I): flujo luminoso por unidad de ángulo sólido, medida en lúmenes / estereorradián (lm / sr) o candelas (cd).
- Iluminancia horizontal en un punto de una superficie (E): cociente entre el flujo luminoso incidente sobre un elemento de la superficie que contiene el

punto y el área de ese elemento, medida en lux (lm / m^2). Es función de la intensidad luminosa que incide en dicho punto, del ángulo γ formado por la dirección de incidencia en el punto con la vertical, y de la altura h de montaje de la luminaria.

- Illuminancia media horizontal (E_m): valor medio de la iluminancia horizontal en la superficie considerada, también medida en lux.
- Eficiencia energética de una instalación (ϵ): relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de dicha instalación entre la potencia activa total instalada, medida en $\text{m}^2 \cdot \text{lux} / \text{W}$. Esta eficiencia también se puede expresar como el producto de los tres factores posteriores.
- Eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares (ϵ_L): relación entre el flujo luminoso emitido por dicha lámpara y la potencia total consumida por ella y su equipo auxiliar, medida también en $\text{m}^2 \cdot \text{lux} / \text{W}$.
- Factor de mantenimiento (f_m): relación entre los valores de iluminancia que se pretenden mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores iniciales.
- Factor de utilización (f_u): relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias. Es función del tipo de lámpara, de la distribución de la intensidad luminosa y rendimiento de las luminarias, así como de la geometría de la instalación, tanto en lo referente a las características dimensionales de la superficie a iluminar (longitud y anchura), como a la disposición de las luminarias en dicha instalación (tipo de implantación, altura y separación entre puntos de luz).
- Luminancia en un punto de una superficie (L): intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada por dicha superficie en la dirección del ojo del observador, medida en cd / m^2 . Es función de la intensidad luminosa que incide en dicho punto, de las características de reflexión del pavimento (coeficiente R), y de la altura h de montaje de la luminaria.
- Luminancia media de una superficie (L_m): valor medio de la luminancia de la superficie considerada, medida igualmente en cd / m^2 .

2.8.5.3. FÓRMULAS

Las fórmulas a emplear para el cálculo eléctrico de los parámetros de diseño de la red de alumbrado público serán las mismas que se utilizan en el caso de la red de suministro eléctrico particular en BT, es decir, las ecuaciones para la obtención de la intensidad media y la caída de tensión que se vuelven a mostrar acto seguido (donde, a diferencia de la red en BT, la caída de tensión se limita a un máximo de un 3%):

$$I_{\text{línea}} (A) = \frac{P (W)}{\sqrt{3} \cdot (U_{\text{línea}} (V)) \cdot \cos(\varphi (\text{rad}))} \leq I_{\text{max}} (A)$$

$$u\%_{\text{max}} = \frac{\sqrt{3} \cdot (R (\Omega/m) \cdot \cos(\varphi (\text{rad})) + X (\Omega/m) \cdot \sin(\varphi (\text{rad}))) \cdot I_{\text{línea}} (A) \cdot L_{\text{max,AL}} (m)}{U_{\text{línea}} (V)} \cdot 100 \leq 3\%$$

Además, para esta red se realizará igualmente el cálculo de los parámetros luminotécnicos anteriores para el establecimiento del número de luminarias necesarias en el área del sector. Así pues, las ecuaciones relativas a dichos parámetros quedan de la siguiente manera:

$$\varepsilon = \frac{A (m^2) \cdot E_m (\text{lux})}{P (W)} = \varepsilon_L (m^2 \cdot \text{lux} / W) \cdot f_m \cdot f_u$$

$$\varepsilon_L = \frac{\phi_L (lm)}{P_L (W)}$$

$$n = \frac{L (m)}{s (m)} + 1$$

2.8.5.4. CÁLCULOS

En primer lugar, cabe decir que en lo relativo a los cálculos luminotécnicos, se basarán en los datos que aparecen previamente y en los expresados en el Reglamento de Eficiencia Energética y en sus Instrucciones Técnicas Complementarias. Por un lado, dichos cálculos se realizan para unos viales de tipo funcional (tránsito rodado), en situación de proyecto B (B1 ó B2), con poco tráfico ($IMD < 7000$ vehículos / día), lo cual implica una clase de alumbrado máxima de ME4b. Para esta clase de alumbrado se establece una luminancia media mínima L_m de $0,75 \text{ cd} / m^2$, y suponiendo un coeficiente reflector R del pavimento de $15 \text{ lum} / \text{cd}$, la iluminancia media mínima E_m que habrá que garantizar en estos viales será de:

$$E_m = L_m \cdot R = 0,75 \cdot 15 = 11,25 \text{ lux}$$

A partir de esto, al aplicar la fórmula expresada previamente para la eficiencia energética ε , teniendo en cuenta que el cálculo se realiza para un área de iluminación de una lámpara, la cual es rectangular con un ancho igual al equivalente para el vial en cuestión (ancho viario total para los viales con disposición unilateral de puntos de luz, y medio ancho viario para los viales en que esa disposición es pareada) y una longitud igual a la interdistancia entre dos puntos de luz consecutivos, y siendo la potencia de las lámparas la equivalente al producto de la aplicación de la carga eléctrica de las mismas sobre el área anterior, para el caso de una carga p_{AL} igual a la mínima exigida ($1,5 \text{ W} / m^2s$), se obtiene lo siguiente:

$$\varepsilon = \frac{A \text{ (m}^2\text{)} \cdot E_m \text{ (lux)}}{P_L \text{ (W)}} = \frac{a \text{ (m)} \cdot s \text{ (m)} \cdot E_m \text{ (lux)}}{P_L \text{ (W)}} = \frac{a \text{ (m)} \cdot s \text{ (m)} \cdot E_m \text{ (lux)}}{a \text{ (m)} \cdot s \text{ (m)} \cdot p_{AL} \text{ (W/m}^2\text{)}} = \frac{E_m \text{ (lux)}}{p_{AL} \text{ (W/m}^2\text{)}}$$

$$\varepsilon = \frac{11,25}{1,5} = 7,5 \text{ m}^2 \cdot \text{lux} / \text{W}$$

Sin embargo, de la tabla correspondiente de requisitos mínimos de eficiencia energética en viales funcionales para situaciones de proyecto A y B (ITC-EA-01), se obtiene por interpolación lineal que la eficiencia energética mínima para una iluminancia media (E_m) en servicio de 11,25 lux es de $12,75 \text{ m}^2 \cdot \text{lux} / \text{W}$. Aquí se muestra dicha tabla:

$E_m \text{ (lux)}$	$\geq 30,00$	25,00	20,00	15,00	10,00	$\leq 7,50$
$\varepsilon \text{ (m}^2 \cdot \text{lux} / \text{W})$	22,00	20,00	17,50	15,00	12,00	9,50

El valor de eficiencia energética obtenido equivale a unas cargas eléctricas de $0,88 \text{ W} / \text{m}^2\text{s}$, por lo que habrá que buscar un valor mínimo de ε que permita mantener un nivel mínimo de carga eléctrica de $1,5 \text{ W} / \text{m}^2\text{s}$. Esto se alcanza para una iluminancia media E_m de 33 lux y una eficiencia energética mínima ε de $22 \text{ m}^2 \cdot \text{lux} / \text{W}$, valores que habrá que conseguir en toda la red viaria. Por otro lado, aplicando de nuevo la ecuación de la eficiencia energética, se obtienen los siguientes valores de la potencia por unidad de longitud viaria en función del ancho de viales y de la disposición de los puntos de luz en los mismos:

$$\frac{P_L}{s} = \frac{a \text{ (m)} \cdot E_m \text{ (lux)}}{\varepsilon \text{ (m}^2 \cdot \text{lux} / \text{W})} = a \text{ (m)} \cdot p_{AL} \text{ (W/m}^2\text{s)} \rightarrow \frac{P_{L,16}}{s_{16}} = \left(\frac{16}{2}\right) \cdot 1,5 = 12,00 \text{ W} / \text{m}$$

$$\rightarrow \frac{P_{L,10}}{s_{10}} = 10 \cdot 1,5 = 15,00 \text{ W} / \text{m}$$

Según la ITC-BT-44, la potencia que consumen las lámparas de descarga se calcula como la resultante de multiplicar la potencia nominal de las mismas por un factor establecido en dicha norma en 1,8, por lo que, aplicando las potencias de lámpara obtenidas en las ecuaciones anteriores, y operando en la fórmula del número de luminarias necesarias, teniendo unas longitudes viarias de 672,7132 m (ancho 16 m) y de 541,5663 m (ancho 10 m), se obtienen los resultados que se muestran a continuación:

$P_{N,L,AL}$ (W)	50,00	70,00	100,00	150,00	250,00	400,00
$P_{L,AL}$ (W)	90,00	126,00	180,00	270,00	450,00	720,00
ε_L (m ² · lux / W)	80,00	90,00	100,00	110,00	125,00	135,00
ϕ_L (m ² · lux)	7200,00	11340,00	18000,00	29700,00	56250,00	97200,00
s_{16} (m)	7,50	10,50	15,00	22,50	37,50	60,00
s_{10} (m)	6,00	8,40	12,00	18,00	30,00	48,00
n_{16}	181	130	92	62	38	24
n_{10}	91	65	46	31	19	12

Además de lo indicado, en la tabla también aparecen los valores del flujo luminoso que emitirán las lámparas, en función de la eficacia luminosa de cada una de ellas (que es la mínima asociada a cada potencia, según lo indicado en el Reglamento (CE) 245/2009 para lámparas VSAP), a partir de los cuales se va a determinar la potencia nominal de las mismas en cada tramo de calle. Para ello, se atenderá a la relación entre dicho flujo luminoso y la altura de los puntos de luz, que es la expresada en esta otra tabla:

H (m)	$6 \leq H < 8$	$8 \leq H < 10$	$10 \leq H < 12$	$H \geq 12$
ϕ_L (lm)	$3000 \leq \phi_L < 10000$	$10000 \leq \phi_L < 20000$	$20000 \leq \phi_L < 40000$	$\phi_L \geq 40000$

Por tanto, de la tabla se obtiene que las luminarias de 8 m de altura (ancho viario 16 m) llevarán lámparas de potencia nominal **100 W**, mientras que las de 12 m de altura (ancho viario 10 m) tendrán lámparas de potencia nominal **250 W**. Todos estos cálculos están referidos a un nivel de iluminación de 33 lux, pero dicho nivel tendrá que ser aumentado hasta 40 lux en los cruces viarios, dado que en sus inmediaciones se encuentran los pasos de peatones, los cuales requieren una visibilidad mayor. Así pues, esta iluminancia media de 40 lux se consigue aproximando los puntos de luz en esa zona, resultando una interdistancia entre puntos de luz en los mismos de:

$$E_m(\text{lux}) \cdot a_{16}(\text{m}) \cdot s_{16}(\text{m}) = E_{m,\text{cr}}(\text{lux}) \cdot a_{16,\text{cr}}(\text{m}) \cdot s_{16,\text{cr}}(\text{m}) \rightarrow 33 \cdot \left(\frac{16}{2}\right) \cdot 15 = 40 \cdot \left(\frac{16}{2}\right) \cdot s_{16,\text{cr}}(\text{m})$$

$$\rightarrow s_{16,\text{cr}} = \mathbf{12,375 \text{ m}}$$

$$E_m(\text{lux}) \cdot a_{10}(\text{m}) \cdot s_{10}(\text{m}) = E_{m,\text{cr}}(\text{lux}) \cdot a_{10,\text{cr}}(\text{m}) \cdot s_{10,\text{cr}}(\text{m}) \rightarrow 33 \cdot 10 \cdot 30 = 40 \cdot 10 \cdot s_{10,\text{cr}}(\text{m}) \rightarrow$$

$$\rightarrow s_{10,\text{cr}} = \mathbf{24,75 \text{ m}}$$

Aproximando las áreas de los cruces a la de un rectángulo de dimensiones iguales a los anchos de cada vial confluyente, se tendrían tres cruces de 256 m², otros tres cruces de 160 m² y otro cruce de 100 m², sumando entre todos

una superficie total de 1348 m², por lo que si se aumenta en dicha área el número de luminarias, respecto a las del resto del sector, de manera proporcional al incremento de iluminancia media que se requiere, se estima que serían necesarias 2 luminarias adicionales en dichas áreas (se va a suponer que una de cada tipo, es decir, una de 8 m y otra de 12 m), con lo que el total de puntos de luz a disponer en la red viaria del sector será de **93 luminarias de 8 m** de altura de soportes y **100 W** de potencia nominal de lámparas en los viales de 16 m de ancho, y de **20 luminarias de 12 m** de altura de soportes y **250 W** de potencia nominal de lámparas en los viales de 10 m de ancho. Se comprueba a continuación que la potencia instalada derivada de esta configuración supera la mínima exigida:

$$P_{\min, RV} = p_{AL} \cdot A_{RV} = 1,5 \cdot 14124,5656 = 21186,85 \text{ W}$$

$$P_{\text{inst}, RV} = (n_{16} + 1) \cdot P_{L,16} + (n_{10} + 1) \cdot P_{L,10} = 93 \cdot 180,00 + 20 \cdot 450,00 = 25740,00 \text{ W}$$

De modo análogo al caso de la red viaria, se procede a realizar los cálculos para la disposición del alumbrado en la zona verde. Ésta se llevará a cabo a lo largo del espacio peatonal pavimentado en su interior, cuyo ancho es de 2 m, y la altura de las luminarias será en este caso inferior a la que tienen en la red viaria (estableciéndose dicha altura en unos 5 m), al tratarse de una zona de jardín que se cataloga en la ITC-EA-02 como específica y asimilable a una vía de tipo E (vial ambiental), por lo que al ser dicha altura igual a la del ancho peatonal, bastará con una disposición unilateral de los puntos de luz. Teniendo en cuenta que el tráfico de peatones en la zona es de tipo normal (situación de proyecto E2), la clase de alumbrado máxima será S2, para la que se establece, también en la ITC-EA-02, una iluminancia media mínima de servicio E_m de 10 lux, con lo que, dada la carga eléctrica mínima de 1,5 W / m²s, se ha de conseguir una eficiencia energética ϵ de 6,67 m² · lux / W, superior al mínimo de 6 m² · lux / W establecido en la ITC-EA-01 para viales ambientales. La potencia por unidad de longitud viaria será en este caso de:

$$\frac{P_{L,ZV}}{s_{ZV}} = 5 \cdot 1,5 = 7,50 \text{ W / m}$$

Puesto que la longitud de los tramos peatonales de la zona verde es de 567,5519 m, al operar de forma análoga a la red viaria se obtienen los siguientes resultados (con el resto de características idénticas a las de la tabla anterior para cada potencia nominal de lámparas):

$P_{N,L,AL}$ (W)	50,00	70,00	100,00	150,00	250,00	400,00
s_{ZV} (m)	12,00	16,80	24,00	36,00	60,00	96,00
n_{ZV}	48	35	25	17	10	7

Así pues, al ser la altura relativamente baja (**5 m**), será suficiente que las lámparas tengan un flujo luminoso bajo (del orden de unos 7200,00 lm) a fin de evitar deslumbramientos, por lo que bastará con que las lámparas de las **50 luminarias** que habrán de disponerse sean de VSAP de **50 W**. Finalmente y al igual que antes, se verifica que la potencia instalada es superior a la mínima exigida (teniendo en cuenta que el área de espacio peatonal de la zona verde es de 1126,9892 m²s):

$$P_{\min, ZV} = p_{AL} \cdot A_{\text{peat, ZV}} = 1,5 \cdot 1126,9892 = 1690,48 \text{ W}$$

$$P_{\text{inst, ZV}} = n_{ZV} \cdot P_{L,ZV} = 48 \cdot 90,00 = \mathbf{4320,00 \text{ W}}$$

De este modo, la potencia activa total necesaria para abastecer la red de alumbrado público del sector SUZ-5 será la suma de la potencia destinada a la red viaria y la de la zona verde, esto es:

$$P_{\text{inst, total}} = P_{\text{inst, RV}} + P_{\text{inst, ZV}} = 25740,00 + 4320,00 = \mathbf{30060,00 \text{ W}}$$

Entre los requisitos de diseño de la red figura el de la ubicación en la misma de un sistema de captación fotovoltaica que permita reducir el consumo en al menos un 30%. Ello significa que la potencia que suministrará dicha red desde el origen en el CT será como máximo de un 70% de la calculada previamente, por lo que la potencia máxima de dicha red resultará ser:

$$P_{\text{red, RV}} = 0,70 \cdot P_{\text{inst, RV}} = 0,70 \cdot 25740,00 = \mathbf{18018,00 \text{ W}}$$

$$P_{\text{red, ZV}} = 0,70 \cdot P_{\text{inst, ZV}} = 0,70 \cdot 4320,00 = \mathbf{3024,00 \text{ W}}$$

$$P_{\text{red, total}} = P_{\text{red, RV}} + P_{\text{red, ZV}} = 18018,00 + 3024,00 = \mathbf{21042,00 \text{ W}}$$

Por su parte, en lo referente a los cálculos eléctricos, teniendo en cuenta que la caída de tensión se calcula, de modo análogo a la red eléctrica en BT, en función de la configuración de la red (que, como se ha dicho, será ramificada pero semejante a una red mallada, donde cada punto de luz será abastecido por el camino más corto posible desde el CT) y de la longitud que va a recorrer la corriente eléctrica en cada tramo, y que el resto de factores se calculan también del mismo modo que los de dicha red eléctrica en BT, los valores obtenidos tanto para la citada caída de tensión como para la intensidad máxima admisible, en función de las características de cada tramo de red y para cada uno de los mismos, son los que se muestran en las dos tablas siguientes (distinguiendo entre red viaria y zona verde):

Cable tripolar en tubo, conductores Cu, aislamiento PVC, red viaria							
Tramo	L _i (m)	Nº puntos de luz		P _{L, i} (W)	I _{línea, i, AL} (A)	S _{c, i, AL} (mm ²)	u% _{i, AL}
		100 W	250 W				
1	202,1275	5	6	2520,00	1,62	6,00	0,50
2	190,8433	11	3	2331,00	1,50	6,00	0,47
3	164,3798	11	2	2016,00	1,29	6,00	0,39
4	166,3625	11	2	2016,00	1,29	6,00	0,36
5	201,2557	11	3	2331,00	1,50	6,00	0,44
6	220,8922	12	3	2457,00	1,58	6,00	0,47
7	130,3771	9	1	1449,00	0,93	6,00	0,11
8	230,2682	17	0	2142,00	1,37	6,00	0,24
9	13,1309	0	0	4851,00	3,11	6,00	0,27
10	13,1309	0	0	4788,00	3,07	6,00	0,24
11	43,0366	3	0	7245,00	4,65	6,00	0,25
12	31,9873	3	0	7182,00	4,61	6,00	0,21
13	13,1000	0	0	14427,00	9,25	6,00	0,11
14	2,4000	0	0	18018,00	11,56	6,00	0,03

Cable tripolar en tubo, conductores Cu, aislamiento PVC, zona verde						
Tramo	L _i (m)	Nº puntos de luz	P _{L, i} (W)	I _{línea, i, AL} (A)	S _{c, i, AL} (mm ²)	u% _{i, AL}
		50 W				
15	84,8304	8	504,00	0,32	6,00	0,07
16	78,2339	7	441,00	0,28	6,00	0,07
17	29,5802	3	189,00	0,12	6,00	0,05
18	42,4596	4	252,00	0,16	6,00	0,05
19	84,0932	8	504,00	0,32	6,00	0,06
20	91,3607	9	567,00	0,36	6,00	0,06
21	14,4740	1	693,00	0,44	6,00	0,05
22	14,4841	1	819,00	0,53	6,00	0,05

Cable tripolar en tubo, conductores Cu, aislamiento PVC, zona verde						
Tramo	L _i (m)	Nº puntos de luz	P _{L, i} (W)	I _{línea, i, AL} (A)	S _{c, i, AL} (mm ²)	u% _{i, AL}
		50 W				
23	48,1435	4	1449,00	0,93	6,00	0,05
24	35,8966	3	1575,00	1,01	6,00	0,04
25	5,3442	0	3024,00	1,94	6,00	0,02

Se puede observar en ambas tablas que es suficiente con utilizar cables de 6 mm² de sección para toda la red, ya que en ningún punto de la misma se van a alcanzar los valores límite de la intensidad (que para esta sección es de 28,55 A, con unos factores de corrección de cálculo de 0,88 – temperatura del terreno de 40°C –, 1,02 – profundidad de 0,50 m –, 0,71 – resistividad térmica de 2,5 K · m / W – y 0,80 – cables bajo tubo –) ni de la caída de tensión. No obstante, en los criterios de diseño se indica la necesidad de compensación de potencia reactiva para el ahorro energético y de coste de la red, para lo cual se implantará en cada luminaria un condensador cuya potencia reactiva será 1/6 de la potencia nominal de cada lámpara (3507,00 VAr en total), elevando así el factor de potencia (cos ϕ) a un valor por encima de 0,95. Con ello, los valores de las tablas anteriores se reducirían en la medida en que se expresa en estas otras tablas:

Cable tripolar en tubo, conductores Cu, aislamiento PVC, red viaria						
Tramo	P _{L, i} (W)	Q _{c, L, i} (VAr)	cos ϕ '	I _{línea, i, AL} (A)	S _{c, i, AL} (mm ²)	u% _{i, AL}
1	2520,00	420,00	0,9531	1,53	6,00	0,47
2	2331,00	388,50	0,9531	1,41	6,00	0,44
3	2016,00	336,00	0,9531	1,22	6,00	0,37
4	2016,00	336,00	0,9531	1,22	6,00	0,34
5	2331,00	388,50	0,9531	1,41	6,00	0,42
6	2457,00	409,50	0,9531	1,49	6,00	0,45
7	1449,00	241,50	0,9531	0,88	6,00	0,10
8	2142,00	357,00	0,9531	1,30	6,00	0,23
9	4851,00	808,50	0,9531	2,94	6,00	0,26
10	4788,00	798,00	0,9531	2,90	6,00	0,22
11	7245,00	1207,50	0,9531	4,39	6,00	0,23

Cable tripolar en tubo, conductores Cu, aislamiento PVC, red viaria						
Tramo	$P_{L,i}$ (W)	$Q_{c,L,i}$ (VAr)	$\cos \varphi'$	$I_{línea,i,AL}$ (A)	$S_{c,i,AL}$ (mm ²)	$u\%_{i,AL}$
12	7182,00	1197,00	0,9531	4,35	6,00	0,20
13	14427,00	2404,50	0,9531	8,74	6,00	0,10
14	18018,00	3003,00	0,9531	10,91	6,00	0,02

Cable tripolar en tubo, conductores Cu, aislamiento PVC, zona verde						
Tramo	$P_{L,i}$ (W)	$Q_{c,L,i}$ (VAr)	$\cos \varphi'$	$I'_{línea,i,AL}$ (A)	$S_{c,i,AL}$ (mm ²)	$u\%_{i,AL}$
15	504,00	84,00	0,9531	0,31	6,00	0,06
16	441,00	73,50	0,9531	0,27	6,00	0,06
17	189,00	31,50	0,9531	0,11	6,00	0,05
18	252,00	42,00	0,9531	0,15	6,00	0,05
19	504,00	84,00	0,9531	0,31	6,00	0,06
20	567,00	94,50	0,9531	0,34	6,00	0,06
21	756,00	115,50	0,9531	0,42	6,00	0,05
22	882,00	136,50	0,9531	0,50	6,00	0,04
23	1512,00	241,50	0,9531	0,88	6,00	0,05
24	1638,00	262,50	0,9531	0,95	6,00	0,04
25	3150,00	504,00	0,9531	1,83	6,00	0,02

Por último, se establece que el valor de la potencia aparente del sistema, necesario para el cálculo del número de centros de transformación que han de abastecer el mismo (ver Anejo 2.7, “Red subterránea de suministro de energía eléctrica”), será de 23,38 kVA (sin compensación de energía reactiva) y de **22,08 kVA** (con compensación de energía reactiva).

2.8.6. TIPO DE SOPORTES Y LUMINARIAS

Los soportes y las luminarias a colocar han de cumplir con lo especificado en la ITC-BT-09 y en la Norma UNE-EN 60598-2-3, además de con lo establecido en los criterios generales de diseño previos relacionados con ellos. En general, se atenderá a lo expresado en la siguiente tabla que relaciona el tipo de soporte con el ancho viario y la presencia o no de aparcamiento:

Tipo soporte	Ancho calle (m)	Aparcamiento
Columna	$A \leq 12$	SÍ
Báculo	$A > 12$	
Columna	$A \leq 14$	NO
Báculo	$A > 14$	

Así, para el alumbrado viario se utilizarán soportes de tipo báculo en los viales de 16 m de ancho y de tipo columna en los de 10 m de ancho, a fin de conseguir una visibilidad adecuada en toda su superficie sin que se produzca deslumbramiento en ningún punto. Los báculos serán troncocónicos de chapa de acero galvanizado de 4 mm de espesor y de brazo 1,5 m (acorde a sus 8 m de altura), mientras que las columnas también serán troncocónicas de chapa de acero galvanizado, con carcasa de aleación ligera o de poliéster reforzado con fibra de vidrio, reflector de aluminio abrillantado y anodizado, y cierre hermético de policarbonato. En el caso de la zona verde, se ubicarán también soportes de tipo columna, de características similares a los anteriores, para no interferir con el arbolado interior de la misma. En todas las luminarias se instalará una única lámpara.

Estos soportes quedarán fijados a su cimentación mediante una placa de base, a la que se unirán los pernos, de longitud 70 cm y diámetro 25 mm, anclados a dicha cimentación por medio de arandela, tuerca y contratuerca. En lo que respecta a la propia cimentación, será de hormigón en masa tipo HM-20/B/20/I (con hormigón de limpieza de fondo HL-150), formado un paralelepípedo de dimensiones 0,7 x 0,7 x 1,1 m en los soportes de 12 m de altura, y 0,5 x 0,5 x 0,7 m en los soportes de menor altura. La conexión entre la citada cimentación y los soportes se realizará a través de un tubo de PVC flexible de unos 90 mm de diámetro, el cual quedará incrustado en el hormigón, comunicando así el hueco central de la placa de base de la columna con el exterior de la cara lateral donde está instalada la canalización de alimentación, con el fin de poder pasar los cables desde la arqueta de empalme y la toma de tierra hasta el interior del soporte.

Todas las luminarias incorporarán, como ya se ha dicho, un sistema de captación solar fotovoltaica, de tal manera que la energía absorbida durante el día se empleará por la noche con el fin de disminuir el suministro de potencia desde la red pública (en al menos un 30%) y, por consiguiente, el coste de la misma.

2.8.7.SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA, MANDO Y PROTECCIÓN

Las líneas de suministro eléctrico de la red de alumbrado público a los puntos de luz serán, como bien se ha dicho, de tipo subterráneo, discurrendo todas ellas en tubo de PVC rígido o flexible de 110 mm de diámetro exterior y al menos 90 mm de diámetro interior (sobre solera y con recubrimiento de hormigón de obra, vertido y apisonado, para la protección de dicho tubo), y serán, como se ha visto, de cobre con una sección mínima de 6 mm² para cada conductor, dados los cálculos de red obtenidos. Se atenderá en cualquier caso a lo expuesto en las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-BT-07, la ITC-BT-09 y la ITC-BT-21 para definir el resto de características y dimensiones de la red. Además, habrá que observar, en las intersecciones viarias, las condiciones de cruce de las líneas de esta red con las de otros servicios para efectuar la disposición adecuada en ellos.

En lo referente a las arquetas, quedarán ubicadas principalmente en los cambios de dirección y en las bifurcaciones y confluencias de líneas (arquetas de cruce) y en las luminarias (arquetas de derivación), además de colocarse también otra en el cuadro de maniobra y protección (arqueta de registro), y cumplirán con las condiciones indicadas en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT). Las derivaciones se realizarán, en la medida de lo posible, en las propias luminarias, dentro de cajas estancas de PVC con fusibles incorporados, que a su vez quedarán alojadas en el interior de las correspondientes arquetas cuyas dimensiones serán de 40 x 40 x 70 cm, hechas a base de hormigón con tapa y marco de fundición. En los cruces de calzada, las arquetas dispuestas también serán de dimensiones 40 x 40 x 70 cm, y de igual modo con tapa y marco de fundición.

Por lo que respecta al cuadro de maniobra y protección, que unirá las líneas de entrada desde el centro de transformación con las anteriores líneas de alimentación de salida, quedará instalado en armario a la intemperie (dentro del citado centro de transformación), recubierto con poliéster reforzado con fibra de vidrio, el cual se dividirá en dos compartimentos que tendrán unas dimensiones de 75 x 75 x 30 cm y 100 x 75 x 30 cm. Dichos compartimentos se destinarán, respectivamente, a albergar el equipo de medida y el cuadro de alumbrado: el primero constará de un seleccionador general de entrada con fusibles calibrados, y de dos contadores trifásicos (uno de potencia activa y otro de potencia reactiva, ambos con neutro); mientras tanto, el segundo estará compuesto por un interruptor automático magnetotérmico general de poder de corte 20 kA, tres interruptores automáticos de 25 A, otros tres interruptores diferenciales de sensibilidad 30 mA, reloj programador astronómico para una adecuada puesta en marcha y funcionamiento del sistema, regulador de flujo

para mejora de la eficiencia en el consumo, contactores de potencia y de mando, otro interruptor para la posibilidad de encendido manual, bombilla de iluminación del cuadro, toma de corriente y otros accesorios varios, además de otros dos contadores (activo y reactivo) similares a los anteriores. El grado de protección mínimo del cuadro tendrá que ser IP55.

Finalmente, en lo relativo a la puesta a tierra de esta red, consistirá por una parte en una placa de acero galvanizado de 50 x 50 x 0,25 cm ubicada bajo el cuadro general de distribución (a una profundidad mínima de 1,5 m), a la que se conectará un cable de cobre desnudo de 35 mm² de sección, así como el correspondiente electrodo o pica, que será de acero cobreado y tendrá una longitud de 1,5 m y un diámetro de 18,3 mm. Por otra parte, la puesta a tierra de cada una de las luminarias se efectuará mediante cables de cobre de la misma sección que el anterior (35 mm²) que conectarán las distintas columnas, unidos a los pertinentes electrodos o picas, las cuales serán de las mismas características que la citada previamente, disponiéndose una de ellas por columna. Las carcasas metálicas y los equipos de encendido quedarán conectados a tierra por medio de un conductor de cobre de 3 x 2,5 mm² de sección en el interior de cada luminaria.