

ILUMINACIÓN DE CARRETERAS

12.1	Criterios de decisión sobre la iluminación de carreteras	203
12.2	Situaciones de proyecto, clases de alumbrado y niveles de iluminación	205
12.3	Cálculos luminotécnicos	212
12.4	Sistemas de iluminación	216

12.1. Criterios de decisión sobre la iluminación de carreteras

12.1.1. Objetivos

El objetivo fundamental de la iluminación de carreteras es permitir una visión segura y confortable durante la noche. Estas cualidades de la visión pueden salvaguardar, facilitar y mejorar el tráfico de vehículos. El uso adecuado de la iluminación viaria como instrumento operativo proporciona beneficios económicos y sociales, como son:

- a) La reducción de accidentes nocturnos, incluyendo los daños humanos y las pérdidas económicas.
- b) La ayuda a la protección policial y seguridad ciudadana.
- c) La facilidad del tráfico.
- d) La promoción del transporte y el desplazamiento durante las horas nocturnas.

La finalidad del alumbrado público es proporcionar al conductor la visibilidad necesaria para distinguir los obstáculos y el trazado de la carretera con el tiempo preciso para efectuar las maniobras que garanticen su seguridad, además de dotarle de confort visual mientras conduce.

12.1.2. Conducción nocturna y capacidad visual de los usuarios

El entorno visual de un automovilista que conduce por la noche está formado principalmente por la calzada. La visibilidad de un obstáculo situado sobre la calzada, depende de la diferencia de luminancias entre el obstáculo y el fondo, constituido por la calzada sobre el que destaca. En el caso de un objeto claro sobre fondo oscuro, su contraste es positivo, en cambio un objeto más oscuro que su fondo se ve en silueta y su contraste es negativo. La iluminación de carreteras produce generalmente contrastes negativos para los objetos u obstáculos oscuros o de bajas reflectancias.

En la conducción nocturna actúa la denominada visión mesópica o crepuscular que comprende el intervalo entre 10^{-3} y 3 ó 4 cd/m^2 , y se caracteriza por la reducción de la agudeza visual y la disminución en la sensibilidad diferencial al contraste, precisándose un elevado contraste umbral de luminancias para la visibilidad de obstáculos. Asimismo esta visión en la conducción nocturna implica una alteración importante en la apreciación de distancias (visión binocular deficiente), percepción limitada de obstáculos laterales y, por último, visión cromática rara e insólita.

Hay que considerar que los faros de los vehículos iluminan únicamente un área limitada delante de éstos, mientras que el alumbrado público suministra luz a la carretera y sus alrededores, abriendo el campo de visión al conductor, aproximándose a las condiciones de luz diurna, lo cual puede ser importante en determinadas circunstancias del tráfico o del entorno.

Por otra parte, la sensibilidad diferencial al contraste para un mismo conductor es más de tres veces superior en una carretera dotada de alumbrado ($2 \text{ cd}/\text{m}^2$), que solamente con la iluminación proporcionada por la luz de cruce del vehículo (0.2 a $0.3 \text{ cd}/\text{m}^2$). La agudeza visual en la conducción nocturna evoluciona de forma que un conductor que circula por una carretera provista de alumbrado, es dos veces y media superior a la agudeza visual de dicho conductor cuando circula únicamente con la luz de cruce del vehículo. En la conducción nocturna con las luces de cruce de un vehículo (0.2 - $0.3 \text{ cd}/\text{m}^2$), la eficacia de la visión binocular queda reducida a un tercio ($1/3$) de la que se alcanza durante el día y, en consecuencia, la percepción y evaluación de distancias disminuye considerablemente, lo que implica un mayor riesgo de accidentes.

12.1.3. Criterios de decisión en la necesidad de iluminación de una carretera

Debe realizarse una selección entre los posibles tramos de carreteras a fin de determinar cuáles de ellos deben ser provistos de alumbrado público, lo que exige el establecimiento de factores y criterios que determinen la implantación de dichas instalaciones.

Factores que influyen a la hora de iluminar

Los factores a considerar para la implantación de alumbrado público son los siguientes:

1. El tipo de vía (autopista, autovía, vía rápida o carretera convencional), su situación y trazado.
2. Los puntos singulares, tales como intersecciones, enlaces complicados y tramos especiales.
3. La intensidad y composición del tráfico.

Como criterios de instalación de alumbrado en tramos de carreteras se recomienda tener en cuenta los factores que influyen en la necesidad de su iluminación, así como considerar los supuestos en los que, debido a la intensidad de tráfico, únicamente pueden utilizarse las luces cortas o de cruce del vehículo en un elevado porcentaje de tiempo.

En carretera convencional, el cambio de luz larga a luz de cruce para evitar deslumbramientos debe realizarse a una distancia aproximada de 500 m. entre vehículos enfrentados que circulan en sentidos contrarios. Por tanto, el número máximo de vehículos a la hora que podrá circular con luz de carretera (luz larga), a una media de 75 Km/h., es de 150, lo que supone un total de 300 vehículos a la hora en periodo de oscuridad, en un tramo recto.

Como criterios orientativos, en la Tabla 1 se indican los valores de las intensidades medias diarias (IMD) de tráfico que podrían adoptarse para tomar en consideración la posibilidad de iluminar la carretera.

Asimismo y al objeto de evitar el denominado efecto "agujero negro", sería conveniente considerar el iluminar los tramos entre enlaces cuya distancia sea inferior a 6 Km. en carreteras de calzadas separadas y de 2 Km. en carreteras de calzada única.

Además, resultaría recomendable tener en cuenta aquellos tramos de carretera donde exista un porcentaje considerable de accidentes nocturnos respecto a los diurnos.

Tipo de vía	IMD mínima para iluminar (Veh/hora)
Carreteras convencionales	12.000
Autovías y autopistas	22.000
Intersecciones	4.000
Enlaces	7.000

Tabla 1. Valores límites de IMD recomendados para iluminación.

12.2. Situaciones de proyecto, clases de alumbrado y niveles de iluminación

12.2.1. Clasificación de las situaciones del proyecto

A efectos de las presentes recomendaciones se consideran las siguientes situaciones de la Tabla 2.

CLASIFICACIÓN DE LAS SITUACIONES DE PROYECTO

Tipos de vías	Tipos de usuarios				Situaciones de proyecto
	M	S	C	P	
Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías) Carreteras de calzada única de doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas)	M				A1
Carreteras interurbanas sin separación de aceras o carril bici		0			A2
Vías colectoras y rondas de circunvalación. Carreteras interurbanas en con accesos no restringidos		0	0	0	A3

TIPOS DE USUARIOS

<input checked="" type="checkbox"/>	Usuario principal	M	Tráfico motorizado
<input type="checkbox"/>	Otros usuarios permitidos	S	Vehículos de movimiento lento
<input type="checkbox"/>	Usuarios excluidos	C	Ciclistas
		P	Peatones.

Tabla 2

12.2.2. Selección de la clase de alumbrado

Una vez establecida la situación de proyecto de acuerdo con lo dispuesto en la Tabla 2, se procede a seleccionar la clase de alumbrado que satisface las exigencias de iluminación que se necesitan para la citada situación del proyecto.

Se definen para las calzadas secas las siguientes clases de alumbrado de la serie ME: ME1, ME2, ME3 (a, b) y ME4 (a, b), establecidas en orden de mayor a menor exigencia en los niveles luminosos.

Cada clase de alumbrado serie ME comprende los siguientes niveles de iluminación:

- Nivel de luminancia medio de la superficie de la calzada.
- Uniformidad global de luminancia.
- Uniformidad longitudinal de luminancia.
- Deslumbramiento perturbador (incremento umbral de contraste).
- Relación entorno (iluminación de zonas adyacentes a la calzada).

En la Tabla 3 se incluyen las clases de alumbrado que corresponden a las situaciones del proyecto A.

La Tabla 4 comprende un total de 4 clases de alumbrado ordenadas de mayor a menor grado de exigencia luminotécnica, con expresión de los niveles como valores mínimos en servicio, es decir, con mantenimiento de la instalación, a excepción del incremento de umbral TI que son valores máximos iniciales. Las clases de alumbrado ME3 y ME4 se dividen en los apartados a y b cuya diferencia estriba en la uniformidad longitudinal.

CLASES DE ALUMBRADO PARA VÍAS DE TRÁFICO RODADO

SITUACIONES DE PROYECTO	TIPOS DE VÍAS	CLASE DE ALUMBRADO*
A ₁	– Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías): <ul style="list-style-type: none"> • Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera: <ul style="list-style-type: none"> Alta (IMD) > 25.000 Media (IMD) – Entre 15.000 y 25.000 Baja (IMD) < 15.000 	ME 1 ME 2 ME 3a
	– Carreteras de calzada única de doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas): <ul style="list-style-type: none"> • Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera: <ul style="list-style-type: none"> Alta (IMD) > 15.000 Media y baja (IMD) < 15.000 	ME 1 ME 2
A ₂	– Carreteras interurbanas sin separación de aceras o carriles bici. <ul style="list-style-type: none"> • Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera. • Control del tráfico y separación de los distintos tipos de usuario. • Parámetros específicos. 	ME 1 ME 2 ME 3a ME 4a
A ₃	– Vías, colectoras y rondas de circunvalación. – Carreteras interurbanas con accesos no restringidos. <ul style="list-style-type: none"> • Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera. • Control del tráfico y separación de los distintos tipos de usuario. • Parámetros específicos. 	ME 1 ME 2 ME 3b ME 4a ME 4b

* Para todas las situaciones de proyecto (A1-A2 y A3), cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Tabla 3

La luminancia se expresa en cd/m² mientras que las uniformidades, como relación entre luminancias, carecen de unidades. El deslumbramiento perturbador se detalla en tanto por ciento y, asimismo, tampoco la relación entorno tiene unidades por ser también un cociente entre luminancias.

Desde el punto de vista luminotécnico, las situaciones de proyecto más interesantes son las del grupo A-1, siendo las situaciones recogidas en las clases de alumbrado A-2 y A-3 tratadas más genéricamente.

En la situación de proyecto A₁ la Tabla 3. concreta la clase de alumbrado a adoptar en función únicamente de la intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera.

Para el resto de situaciones de proyecto A₂ y A₃ existen diversas opciones de elección de la clase de alumbrado, seleccionándose en cada caso, de acuerdo con la intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera, control del tráfico y separación de los distintos tipos de usuarios, así como en función de los parámetros específicos dominantes, que se especifican a continuación:

Situación de Proyecto A₂. Parámetros dominantes:

- Tipo de cruces (enlaces, intersecciones).
- Densidad de nudos

Situación de proyecto A₃. Parámetros dominantes:

- Separación de calzadas.
- Tipo de cruces (enlaces, intersecciones).
- Densidad de nudos.

12.2.2.1. Requerimientos luminotécnicos para las situaciones de proyecto

En la Tabla 4 se detallan los niveles de iluminación que corresponden a cada clase de alumbrado de la serie ME.

CLASES DE ALUMBRADO SERIE ME

CLASE DE ALUMBRADO*	LUMINANCIA DE LA SUPERFICIE DE LA CALZADA EN CONDICIONES SECAS			DESLUMBRA- MIENTO PERTURBADOR	ILUMINACIÓN DE ALREDEDORES
	Luminancia media Lm (cd/m ²)	Uniformidad global U ₀	Uniformidad longitudinal U ₁	Incremento umbral TI (%)**	Relación entorno SR***
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3	a	1,00	0,70	15	0,50
	b		0,60		
ME4	a	0,75	0,60	15	0,50
	b		0,50		

* Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado, a excepción de TI, que son valores máximos iniciales. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de depreciación no mayor de 0,8 dependiendo del tipo de luminaria y grado de contaminación del aire.

** Cuando se utilicen fuentes de luz de baja luminancia (lámparas fluorescentes y de vapor de sodio a baja presión), puede permitirse un incremento de 5% del incremento del umbral (TI).

*** La relación entorno SR debe aplicarse en aquellas vías de tráfico rodado donde no existan otras áreas adyacentes a la calzada con sus propios requerimiento.

Tabla 4

12.2.2.2. Casos de calzadas mojadas

En el caso de calzadas mojadas, la superficie refleja la luz de forma mucho más especular o dirigida que difusa (misma luminancia en todas las direcciones del espacio), y la uniformidad de las luminancias de la calzada queda degradada afectando negativamente a la visibilidad de los obstáculos en la carretera.

En aquellas zonas geográficas en las que la intensidad y persistencia de la lluvia provoque que durante una parte significativa de las horas nocturnas, a lo largo del año, la superficie de la calzada permanezca mojada, se tendrán en cuenta los criterios que se muestran en la Tabla 5. Para estas recomendaciones, a título orientativo se consideran en esta situación aquellas zonas con una media superior a 100 días de lluvia al año. En estos casos, el cálculo de la uniformidad global de luminancias se realizará de acuerdo al método que aparece descrito en la publicación CIE nº 47 (1979), teniendo en cuenta las características fotométricas de los pavimentos normalizados al respecto.

CLASES DE ALUMBRADO SERIE MEW

CLASE DE ALUMBRADO	LUMINANCIA DE LA SUPERFICIE DE LA CALZADA EN CONDICIONES SECAS Y HÚMEDAS				DESLUMBRA- MIENTO PERTURBADOR	ILUMINACIÓN DE ALREDEDORES
	CALZADA SECA			CALZADA HÚMEDA		
	Luminancia media Lm (cd/m ²)	Uniformidad global U ₀	Uniformidad longitudinal U ₁ *	Uniformidad global U ₀	Incremento umbral TI (%)	Relación entorno SR
MEW1	2,00	0,40	0,60	0,15	10	0,50
MEW2	1,50	0,40	0,60	0,15	10	0,50
MEW3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,50
MEW4	0,75	0,40	—	0,15	15	0,50

* Este criterio no es restrictivo pero puede aplicarse, por ejemplo, en autopistas, autovías y carreteras de calzada única de doble sentido de circulación y accesos limitados.

Tabla 5

12.2.2.3. Tramos singulares

Se define un tramo como singular por la complejidad de los problemas de visión y maniobras que tienen que realizar los vehículos que circulan por él. Tal es el caso de:

- Nudos (enlaces e intersecciones), y glorietas.
- Zonas de reducción del número de carriles o disminución del ancho de la calzada.
- Zonas de incorporación de nuevos carriles.
- Pasos subterráneos.
- Pasos elevados.

Asimismo, se consideran tramos singulares aquellos sectores de gran dificultad frecuentados por peatones, ciclistas u otros usuarios de la vía de tráfico.

La instalación de alumbrado debe revelar o poner de manifiesto el propio tramo singular, así como todas las características del mismo, tales como la posición de los bordillos, marcas viales, diferentes señalizaciones, direcciones de tráfico, etc. Del mismo modo, debe evidenciar la presencia de peatones, ciclistas, obstáculos, otros vehículos y el movimiento de los mismos en el entorno del tramo singular.

a) *Criterio de luminancia*

Siempre que resulte posible, en los tramos singulares se aplicarán los criterios de luminancias, uniformidades global y longitudinal, deslumbramiento perturbador y relación entorno, que han sido definidas para las distintas clases de alumbrado. En todos casos se tendrá en cuenta que la clase de alumbrado que se defina para el tramo singular será de un grado superior al de la vía de tráfico a la que corresponde dicho tramo singular. Por ejemplo: si a una carretera le atañe una clase de alumbrado ME4, a un tramo singular incluido en su recorrido le corresponde una clase de alumbrado ME3a. Si confluyen varias vías en un tramo singular, tal y como puede suceder en los cruces, la clase de alumbrado será un grado superior al de la vía que tenga la clase de alumbrado más elevada.

b) *Criterio de iluminancia*

Sólo cuando resulte impracticable aplicar los criterios de luminancia, se utilizarán los criterios de iluminancia. Esta situación puede ocurrir cuando la distancia de visión sea inferior a los 60 m. (valor mínimo que se utiliza para el cálculo de luminancia), y cuando no se pueda situar adecuadamente el observador debido a la sinuosidad y complejidad del trazado de la carretera.

En estos casos se aplicarán los criterios de iluminación mediante la iluminancia media y su uniformidad, que corresponden a las clases de alumbrado de la serie CE (Tabla 6). Se cumplirá también con las limitaciones de deslumbramiento o de control de la contaminación luminosa, representadas por las clases de intensidad serie G (Tabla 7).

CLASES DE ALUMBRADO SERIE CE

CLASE DE ALUMBRADO*	ILUMINANCIA HORIZONTAL	
	Iluminancia media Em (lux)	Uniformidad media Um
CEO	50	0,40
CE1	30	0,40
CE2	20	0,40
CE3	15	0,40
CE4	10	0,40
CE5	7,5	0,40

* Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de depreciación no mayor de 0,8 dependiendo del tipo de luminaria y grado de contaminación del aire.

Tabla 6

Considerando, de conformidad con la Tabla 8, que las clases de alumbrado ME y CE de idéntica numeración (por ejemplo CE3 y ME3) son de similar nivel de iluminación, cuando se utilice el criterio de iluminancia, la clase de alumbrado que se defina para el tramo singular será un grado superior al de la vía de tráfico al que corresponde dicho tramo singular. Por ejemplo, si a una carretera se le atribuye una clase de alumbrado ME2, a un tramo singular incluido en su recorrido le correspondería una clase de alumbrado CE1.

En el supuesto de un tramo singular en el que incide una vía con clase de alumbrado ME1, el tramo singular continuará también como clase de alumbrado ME1 o su equivalente CE1. Cuando este tramo singular ofrezca una especial complejidad y una elevada potencialidad de riesgo de accidentes, en la más desfavorable de las situaciones y circunstancias, a dicho tramo le corresponderá una clase de alumbrado CEO (50 lux) o su similar nivel de iluminancia 3'3 cd/m². En situaciones intermedias podrán adoptarse clases de alumbrado comprendidas en el intervalo entre las clases de alumbrado CE1 y CEO, correspondiente a niveles de iluminancia de 35, 40 y 45 lux o sus valores similares 2'3, 2'7 y 3 cd/m² respectivamente.

En los tramos singulares cuyas aceras o arcenes no estén dotadas de una específica iluminación, se considerará el alumbrado de las mismas con un nivel luminoso como mínimo del 50% del previsto sobre la calzada.

CLASES DE INTENSIDAD SERIE G

CLASE DE INTENSIDAD	INTENSIDAD MÁXIMA (cd/Klm)**			OTROS REQUERIMIENTOS
	A 70° *	A 80° *	A 90° *	
G1	—	200	50	Ninguno.
G2	—	150	30	Ninguno.
G3	—	100	20	Ninguno.
G4	500	100	10	Intensidades por encima de 95° deben ser cero.
G5	350	100	10	Intensidades por encima de 95° deben ser cero.
G6	350	100	0	Intensidades por encima de 90° deben ser cero.

* Cualquier dirección que forme el ángulo especificado a partir de la vertical hacia abajo, con la luminaria instalada para su funcionamiento.

** Todas las intensidades son proporcionales al flujo de la lámpara para 1.000 lm.

NOTA: Las clases de intensidad G1, G2 y G3 corresponden a distribuciones fotométricas «semi cut-off» y «cut-off», conceptos utilizados tradicionalmente en los requerimientos luminosos que se definen en el epígrafe 7.5.2. Las clases de intensidad G4, G5 y G6 se asignan a luminarias con distribución «cut-off» muy fuerte, como por ejemplo luminarias con cierre de vidrio plano, en cualquier posición cercana a la horizontal de la apertura o estrictamente en la posición horizontal.

Tabla 7

Cuando no se precise un requerimiento exhaustivo en la limitación del deslumbramiento o en el control de la contaminación luminosa, podrán adoptarse las clases de intensidad G1, G2 y G3. En el supuesto de que la tipología del tramo singular, debido a su configuración, complejidad y potencial peligrosidad, obligue a una mayor limitación del deslumbramiento o del control de la contaminación luminosa, se deberán elegir las clases de intensidad G4 y G5 y, únicamente en casos extremos, se exigirá la clase de intensidad G6.

12.2.2.4. Pérdidas de trazado

En la actualidad no hay métodos para la cuantificación del guiado visual proporcionado por la instalación de alumbrado en las vías de tráfico rodado, pero en cambio, existen ciertas consideraciones prácticas que pueden servir de ayuda en los casos de pérdidas de trazado.

Es evidente que para una circulación segura deben ser perfectamente visibles el trazado de la carretera, los límites de la misma, los posibles cruces y cualquier otro punto singular. El alumbrado debe contribuir a lograr esto y para ello:

- Ha de incrementar la visibilidad de la calzada respecto a las zonas colindantes y la visibilidad de la señalización vertical, horizontal y balizamiento.
- La disposición de los puntos de luz (luminarias) ha de permitir detectar a suficiente distancia el trazado de la carretera, los cruces y otros puntos singulares, jalonando su recorrido.

- El cambio de tipo de fuente de luz de diferente color a la del resto de la vía de tráfico en enlaces, intersecciones, glorietas, circunvalaciones y puntos singulares donde la relación entre accidentes nocturnos y diurnos sea elevada, ayuda al guiado visual.

Por lo que respecta a la visión de la señalización horizontal y, en concreto, de las marcas viales, la cuestión esencial es asegurar una buena visibilidad por la noche, así como en condiciones de pavimento mojado. En este último caso los captafaros, los hitos retrorreflectantes y las marcas viales con resaltes, al estar por encima de la película de agua de la calzada producida por la lluvia, mantienen la visibilidad proporcionada por el alumbrado viario y los propios faros del vehículo, conservándose el guiado visual y la seguridad viaria.

12.2.3. Área de referencia

Definida como parte del área pública de trabajo, bajo consideración o estudio, deben distinguirse varios supuestos en función de los grupos de situaciones de proyecto que a continuación se especifican.

Grupos de situaciones de proyecto A

El área de referencia será constituida por la totalidad de la anchura de la calzada de la vía de tráfico rodado, entre los bordes extremos de la misma. En el caso de vías de tráfico de doble calzada, el área de referencia estará formada por la anchura total de ambas calzadas incluida la mediana, a menos que la anchura de la misma sea tal que cada calzada pueda ser considerada separadamente. La anchura de las bandas adyacentes para la relación entorno SR, será igual como mínimo a la anchura de un carril de tráfico, recomendándose a ser posible 5 m. de anchura. Se exigirá como requerimiento específico la aplicación de dicha relación en torno a las bandas adyacentes a la calzada, de acuerdo con las clases de alumbrado serie ME (Tabla 4), serie MEW (Tabla 5) o serie CE (Tabla 6).

Si hay junto a la vía de tráfico rodado, vías paralelas, existen dos alternativas:

- 1) Considerar el área total

El área de referencia estará constituida por la anchura de la calzada de la vía de tráfico rodado, incluyendo las vías paralelas, entre los bordes externos de las mismas.

- 2) Considerar separadamente la calzada y las vías paralelas

El área de referencia de la vía de tráfico rodado será únicamente la anchura de la calzada.

El área de referencia de la vía paralela será solamente la anchura de la misma. Para los carriles bici y, en su caso vías peatonales, el área de referencia, aparte de la anchura de dichas vías o carriles, deberá incluir 2 m. de banda a cada lado.

12.2.3.1. Clases de alumbrado de similar nivel de iluminación

Para todas las situaciones de proyecto o tipos de vías de tráfico A, los niveles luminotécnicos deben especificarse para cada área de referencia, y no debería existir entre dos áreas adyacentes una diferencia superior a dos clases de alumbrado comparables o de similar nivel de iluminación, tal y como se establece en la Tabla 8.

Detallados los niveles de iluminación de las clases de alumbrado series ME, MEW y CE, en la Tabla 8 se establecen las clases de alumbrado de similar nivel de iluminación para dichas series.

CLASES DE ALUMBRADO DE SIMILAR NIVEL DE ILUMINACIÓN

COMPARABLE POR COLUMNAS						
	ME 1	ME 2	ME 3	ME 4	ME 5	ME 6
	MEW 1	MEW 2	MEW 3	MEW 4	MEW 5	
CE 0	CE 1	CE 2	CE 3	CE 4	CE 5	
Para las clases ME/MEW r-tabla C 2 reflectancia superficie calzada (Publicación CIE nº 66)						

Tabla 8

12.2.4. Variaciones temporales de la clase de alumbrado

En todas las situaciones de proyecto, al objeto de ahorrar energía, podrá variarse temporalmente la clase de alumbrado a otra de inferior nivel luminotécnico a ciertas horas de la noche en las que disminuya sustancialmente la intensidad de tráfico, llevándolo a cabo mediante el correspondiente sistema de regulación de nivel luminoso. En tramos singulares no se deberán realizar variaciones temporales de la clase de alumbrado. Cuando se reduzca el nivel de iluminación, es decir, se varíe la clase de alumbrado a una hora determinada (apagado de media noche), los cambios serán tales que, si la luminancia media se reduce a una clase inferior (por ejemplo pasar de M2 a M3), deberán cumplirse los criterios de uniformidad de luminancia y deslumbramiento establecidos en la Tabla 4.

12.2.5. Alumbrados con soportes de gran altura

Recibe tal denominación el alumbrado ejecutado con puntos de luz cuya altura de montaje es superior a 16 m., y cuyo mantenimiento no puede ser realizado mediante vehículo dotado de cesta hidráulica.

Este sistema se utiliza cada vez que el empleo de soluciones convencionales de alumbrado no resulta satisfactorio, debido a la manipulación de soportes y a la dificultad de su implantación en los correspondientes emplazamientos.

El alumbrado mediante soportes de gran altura se relaciona con la iluminación de grandes superficies, y encuentra su aplicación, entre otros, en los casos siguientes:

- Nudos complejos de autopistas, autovías y carreteras.
- Glorietas.
- Peajes de autopistas.

La realización de la instalación de alumbrado mediante soportes de gran altura es una solución cuando la implantación de los báculos o columnas clásicos origina problemas en el entorno, tales como:

- Pérdida de perspectiva y separaciones de nivelación entre soportes (cruces de vías de tráfico rodado a distintos niveles).
- Problemas de dimensionamiento (grandes espacios), de estética y de confusión del guiado visual (multiplicidad de soportes).

En este tipo de alumbrado las alturas más frecuentes de implantación son los soportes de 30 y 35 m., aún cuando en situaciones concretas de cruces complejos puedan superarse los 40 m. El número de fuentes luminosas se reducirá en lo posible, mediante la utilización de lámparas de descarga de potencia y eficacia luminosa elevada. Pueden instalarse luminarias con óptica convencional, orientable o específica, así como proyectores, adaptándose en cada caso las soluciones que se estimen convenientes para lograr los fines previstos.

Para efectuar las operaciones de mantenimiento, la accesibilidad de los aparatos, equipos y lámparas, podrá efectuarse mediante escalas fijas instaladas en los soportes, hasta una altura de 20 m. Para columnas de alturas mayores, será adecuada la instalación del sistema de corona móvil.

Al objeto de paliar el deslumbramiento, el ángulo de inclinación de la intensidad máxima de los proyectores será [65%, limitando e todo lo posible los valores de intensidad por encima de este ángulo. Todo ello sin perjuicio de la instalación, en su caso, de rejillas u otros dispositivos antideslumbrantes.

ALUMBRADO CON SOPORTES DE GRAN ALTURA. CLASES DE ALUMBRADO

DESCRIPCIÓN DE LA VÍA DE TRÁFICO	CLASE DE ALUMBRADO
Cruces muy complejos con intensidad de tráfico elevado y alta complejidad del trazado y del campo visual	CE 0
Cruces complejos, glorietas	CE 0 CE 1
Zonas de peaje	CE 2

NOTA: En situaciones de alumbrado correspondientes a cruces muy complejos con intensidad de tráfico elevado y alta complejidad del trazado y del campo visual, en algunos casos especiales la uniformidad media de luminancia será 0,5.

Tabla 9

12.3. Cálculos luminotécnicos

12.3.1. Cálculo de luminancias en la instalación de alumbrado

12.3.1.1. Método

La luminancia en un punto de la calzada se calcula mediante la fórmula:

$$L = \sum \left[I(c, \gamma) \cdot \frac{r(\beta, \text{tg}\gamma)}{h^2} \right] \text{ (cm/m}^2\text{)}$$

donde el sumatorio (Σ) comprende, en principio, todas las luminarias de la instalación. Los valores de intensidad luminosa ($I(c, \gamma)$) y del coeficiente de luminancia reducida ($r(\beta, \text{tg}\gamma)$) se obtienen por interpolación cuadrática en la matriz de intensidades de la luminaria y en la tabla de reflexión del pavimento. Por último, la variable h es la altura máxima de la luminaria (Fig. 1).

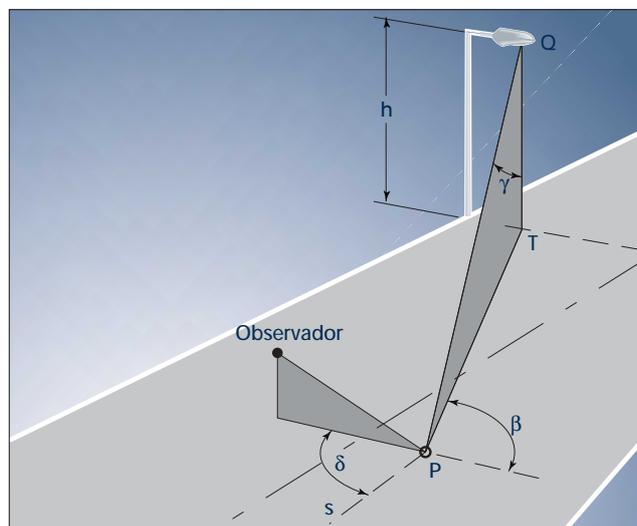


Figura 1. Luminancia en un punto.

Los valores de luminancia calculados estarán influidos por el factor de mantenimiento como minoración, que tiene en cuenta la depreciación luminosa de la lámpara y la causada por la suciedad. Se adoptará, en todos los cálculos, un valor menor o igual a 0,8, dependiendo del tipo de luminaria y del grado local de polución atmosférica.

12.3.1.2. Hipótesis

Los siguientes apartados son aplicables a tramos de calzada rectos o curvas de radio grande (radio ≥ 300 m.). En otro tipo de configuración se estudiará cada caso individualmente, aplicando los criterios para las situaciones especiales.

Además, como ya se ha indicado, los cálculos se establecen para pavimentos en estado seco.

12.3.1.3. Selección de la retícula de cálculo

La retícula de cálculo es el conjunto de puntos en que se calcularán los valores de luminancia. En sentido longitudinal, la retícula cubrirá el tramo de calzada comprendido entre dos luminarias consecutivas del mismo lado.

En sentido transversal, deberá abarcar el ancho definido para el área de referencia.

Los puntos de cálculo se dispondrán como muestra la Fig. 2 y el número de ellos será:

- Longitudinalmente: 10 puntos para separaciones entre luminarias inferiores a 50 m., o el menor número de puntos que proporcione distancias entre ellos iguales o inferiores a 5 m., para separaciones entre luminarias mayores de 50 m.
- Transversalmente: 5 puntos por carril, con uno de ellos situado en el centro del mismo. Los dos puntos más exteriores quedarán dentro de la calzada, con respecto al borde de la misma, a $1/6$ del ancho del carril.

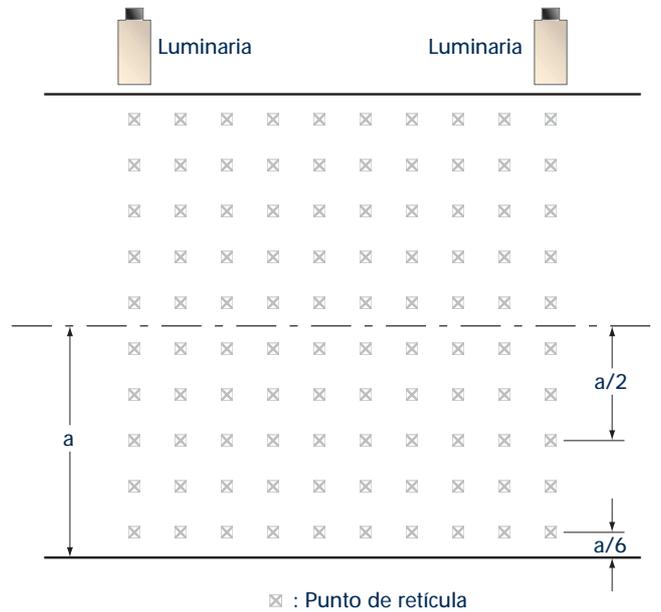


Figura 2. Retícula de cálculo.

12.3.1.4. Posición del observador

- a) Altura: 1'5 m. sobre la superficie de la calzada.
- b) Situación longitudinal: A 60 m. de la primera línea transversal de puntos de cálculo.
- c) Situación transversal:
 - Para el cálculo de la luminancia media y de la uniformidad global, a $1/4$ del ancho total de la calzada, medido desde el borde derecho de la misma.
 - Para el cálculo de la uniformidad longitudinal, para cada sentido de circulación, en el centro de cada uno de los carriles del sentido considerado.

12.3.1.5. Número de luminarias

El número de luminarias que contribuyen a la luminancia en un punto de cálculo se debe restringir, en el sentido de circulación, a aquellas situadas previamente a cinco veces la altura de montaje, y a doce veces la altura de montaje. Asimismo, en lo referente a luminarias ubicadas transversalmente al sentido de la circulación, sólo se tomarán en consideración las que se encuentren a menos de cinco veces la altura de montaje.

12.3.1.6. Cálculos

- Luminancia media: valor medio de las luminancias calculadas en los puntos de la retícula.
- Uniformidad global: cociente entre la luminancia mínima calculada en un punto de la retícula y la luminancia media.
- Uniformidad longitudinal: para cada uno de los carriles, se obtiene dividiendo las luminancias puntuales mínima y máxima calculadas en el eje del carril.

12.3.2. Cálculo de iluminancias horizontales

12.3.2.1. Método

La iluminancia horizontal en un punto de la calzada se expresa mediante:

$$E = \sum \left[I(c, \gamma) \cdot \frac{\cos^3 \gamma}{h^2} \right] \text{ (lux)}$$

Siendo γ el ángulo formado por la dirección de incidencia en el punto con la vertical (Fig. 3). El sumatorio (Σ) comprende, en principio, a todas las luminarias de la instalación.

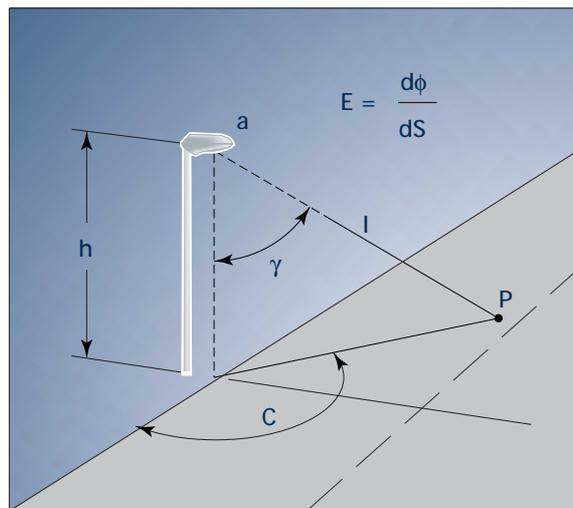


Figura 3. Iluminancia en un punto.

Los cálculos de iluminancias, al igual que los de luminancias, se afectarán por un factor de mantenimiento menor o igual a 0,8, dependiendo del tipo de luminaria y del grado local de polución atmosférica.

12.3.2.2. Selección de la retícula de cálculo

Se adoptará la misma que se ha descrito en el apartado 12.3.1.3.

12.3.2.3. Número de luminarias

Se irán acumulando, en los puntos de la retícula, las iluminancias producidas por las luminarias, evolucionando desde las más cercanas hacia las más lejanas, hasta el momento en que una luminaria no produzca en ninguno de los puntos de la retícula un nivel superior al 1% del acumulado.

12.3.2.4. Cálculos

- Iluminancia media: valor medio de las iluminancias calculadas en los puntos de la retícula.
- Uniformidad media: cociente entre la iluminancia mínima calculada en un punto de la retícula y la iluminancia media.
- Uniformidad extrema: cociente entre las iluminancias mínima y máxima calculadas en los puntos de la retícula.

12.3.3. Cálculo del deslumbramiento perturbador

12.3.3.1. Método

Se basa en el cálculo de la luminancia de velo:

$$L_v = 3 \cdot 10^{-3} \cdot \sum \left(\frac{E_g}{\theta^2} \right) \quad (\text{cd/m}^2)$$

donde E_g (lux) es la iluminancia producida en el ojo en un plano perpendicular a la línea de visión, y θ (rad) es el ángulo entre la dirección de incidencia de la luz en el ojo y la dirección de observación. El sumatorio (Σ) está extendido, en principio, a todas las luminarias de la instalación (ver 12.3.3.4.).

El incremento del umbral de percepción se calcula según la expresión:

$$TI = 65 \frac{L_v}{(L_m)^{0.8}} \dots (\text{en } \%)$$

que es una fórmula válida para luminancias medias de calzada (L_m) entre 0'05 y 5 cd/m^2 .

12.3.3.2. Ángulo de apantallamiento

A efectos de cálculo del deslumbramiento perturbador, no se considerarán las luminarias cuya dirección de observación forme un ángulo mayor de 20° con la línea de visión, ya que se suponen apantalladas por el techo del vehículo.

12.3.3.3. Posición del observador

- Altura: 1'5 m. sobre la superficie de la calzada.
- Situación longitudinal: De forma tal que la luminaria más cercana a considerar en el cálculo se encuentre formando exactamente 20° con la línea de visión. En el caso de disposiciones al tresbolillo, se efectuarán dos cálculos diferentes (con la primera luminaria de cada lado en 20°) y se proporcionará como resultado el mayor valor de los dos.
- Situación transversal: A 1/4 del ancho total de la calzada medido desde el borde derecho de la misma.
- Punto de observación: El observador siempre mira hacia un punto en la calzada situado a 90 m. frente a él, en la misma situación transversal en que se encuentra.

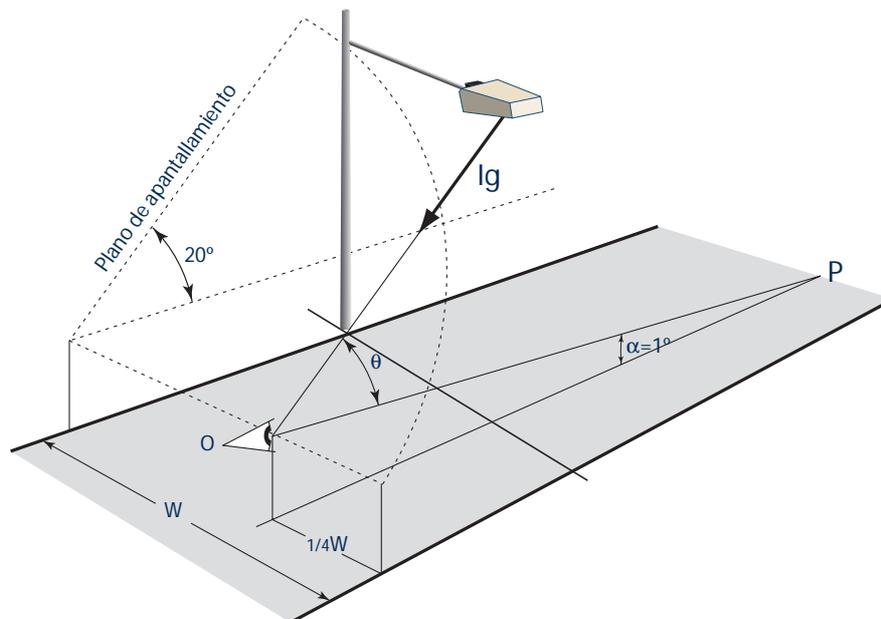


Figura 4. Posición del observador.

12.3.3.4. Número de luminarias

Se considera que contribuyen al deslumbramiento perturbador todas las luminarias que se encuentren a menos de 500 m. de distancia del observador.

12.3.3.5. Cálculos

- Luminancia de velo: para cada hilera de luminarias, se comienza por la más cercana, alejándose progresivamente y acumulando las luminancias de velo producidas por cada una de ellas, hasta que su contribución individual sea inferior al 2% de la acumulada, y como máximo hasta las luminarias situadas a 500 m. del observador. Finalmente, se sumarán las luminancias de velo de todas las hileras de luminarias.
- Incremento del umbral de percepción: se calculará con los valores de luminancia de velo obtenida según 12.3.3.1. y de la luminancia media según 12.3.1.6.

12.4. Sistemas de iluminación

12.4.1. Distribución de puntos de luz en cruces, glorietas y curvas

En los cruces e intersecciones los niveles de iluminación serán los establecidos para tramos singulares y, como mínimo, de un 10 a 20% superiores a los correspondientes a la clase de vía cuyo nivel luminoso sea mayor entre las que confluyen en el mismo.

Consecuentemente, la situación de los puntos de luz será la idónea al objeto de lograr los mencionados niveles, indicándose a título de ejemplo las disposiciones en planta de las Fig. 5 y 6.

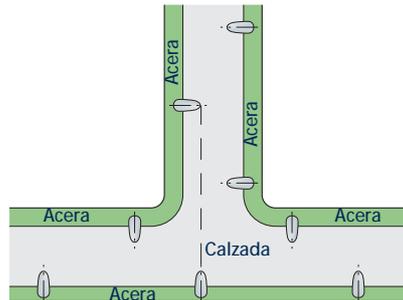


Figura 5

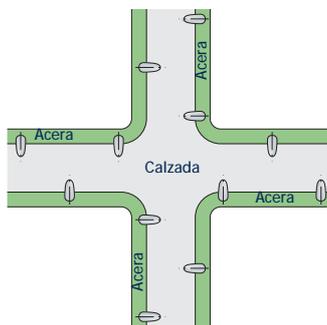


Figura 6

La altura H de montaje de los puntos de luz (Fig. 7 y 8) deberá ser igual a la de los puntos de la vía principal que confluya en la glorieta a iluminar. En el caso de que en la zona central de la glorieta no se obtenga una iluminación mayor o igual a 1'5 veces la iluminación media de dicha calzada principal, se requerirá una iluminación suplementaria.

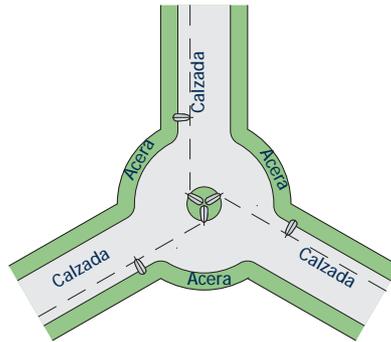


Figura 7

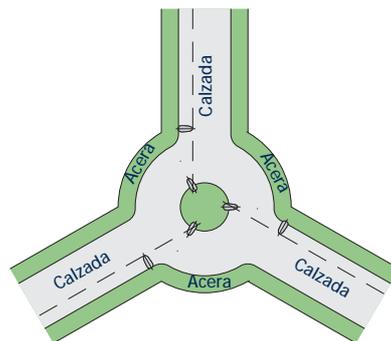


Figura 8

Si la parte central de la glorieta tiene un diámetro menor de 18 m. se instalará en su centro un punto de luz especial en columna o báculo de brazo múltiple (Fig. 7). Si su diámetro es mayor de 18 m. o tiene arbolado en el centro, se dispondrán puntos de luz en las prolongaciones de los ejes de circulación (Fig. 8).

Respecto a la implantación de puntos de luz en curvas y en relación al alumbrado se consideran tramos curvos aquellos cuyo radio sea menor de 300 m. Cuando el radio sea superior a dicha cifra se considerarán como tramos rectos.

Si la anchura A de la vía de tráfico es menor de 1'5 veces la altura H de montaje, los puntos de luz deberán implantarse en la parte exterior de la curva, situando un punto de luz en la prolongación de los ejes de circulación (Fig. 9 y 10). La separación entre puntos de luz deberá ser tanto menor cuanto mayor sea el radio de curvatura, variando entre $3/4$ y $1/2$ de la separación media calculada en el tramo recto de dicha vía de tráfico.

Para vías de tráfico cuya anchura sea mayor de 1'5 veces la altura H de montaje, la implantación de puntos de luz deberá ser bilateral pareada. En cualquier caso deberá evitarse la distribución a tresbolillo.

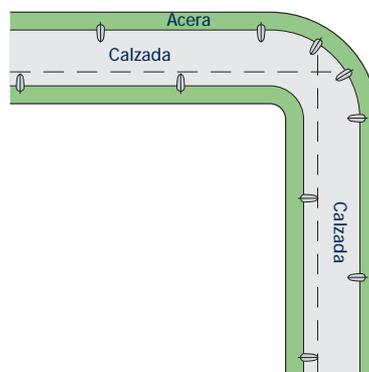


Figura 9

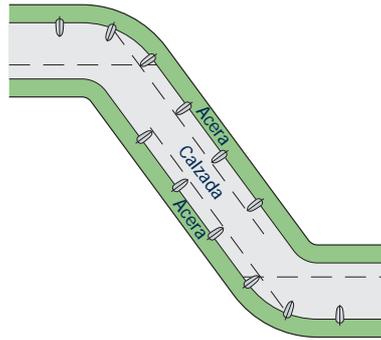


Figura 10

12.4.2. Implantación de puntos de luz en tramos rectos

Para vías de tráfico en tramos rectos se considerarán cinco tipos básicos de distribución de los puntos de luz.

12.4.2.1. Unilateral

Cuando los puntos de luz se sitúan en un mismo lado de la vía de tráfico (Fig. 11). Se utilizará generalmente cuando la anchura A de la calzada sea igual o inferior a la altura H de montaje de las luminarias.

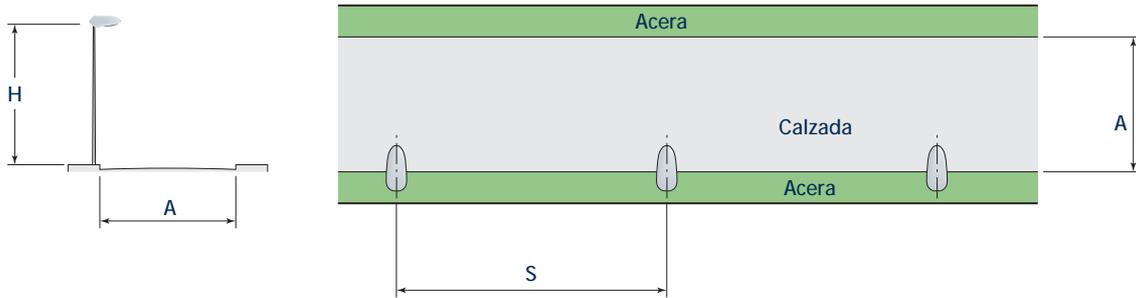


Figura 11. Implantación unilateral.

12.4.2.2. Bilateral tresbolillo

Cuando los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la vía de tráfico a tresbolillo o en zigzag (Fig. 12). Se utilizará principalmente cuando la anchura de la calzada A sea de 1 a 1'5 veces la altura H de montaje de las luminarias, considerándose más idóneo el intervalo de 1 a 1'3 H .

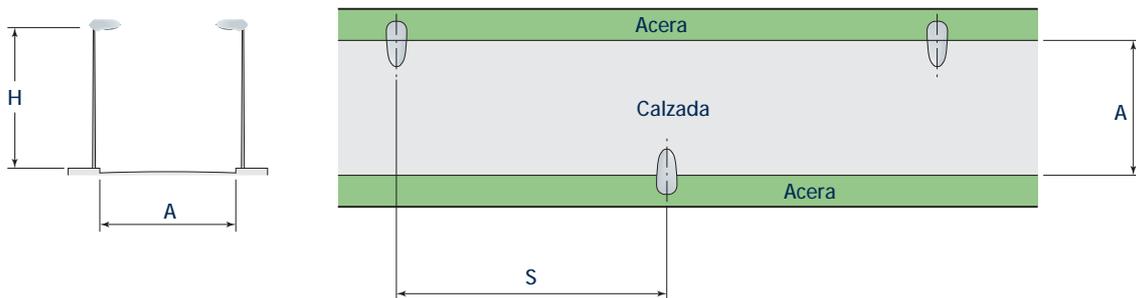


Figura 12. Implantación bilateral tresbolillo.

12.4.2.3. Bilateral pareada

Cuando los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la vía de tráfico, uno opuesto al otro (Fig. 13). Se utilizará normalmente cuando la anchura de la calzada A sea mayor de 1'5 veces la altura H de montaje de las luminarias, considerándose más adecuado utilizarlo cuando la anchura supere 1'3 veces la altura H .

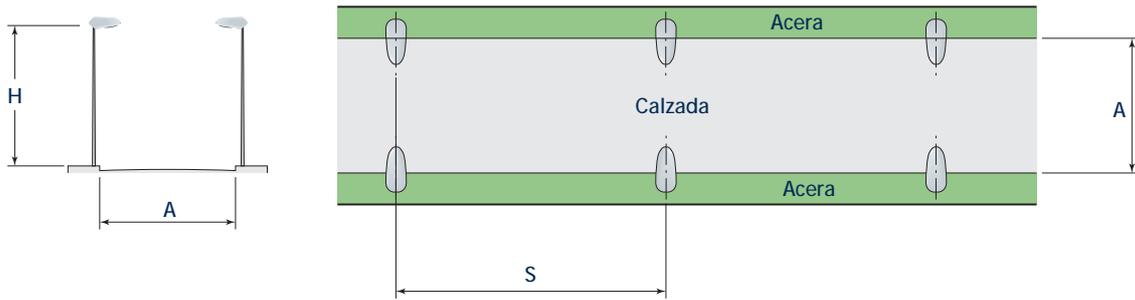


Figura 13. Implantación bilateral pareada.

12.4.2.4. Central o axial

En las vías de tráfico con mediana de separación entre los dos sentidos de circulación, los puntos de luz se implantarán en columnas o báculos de doble brazo, situados en la mediana central, cuando la anchura de ésta esté comprendida entre 1 y 3 m. (Fig. 14).

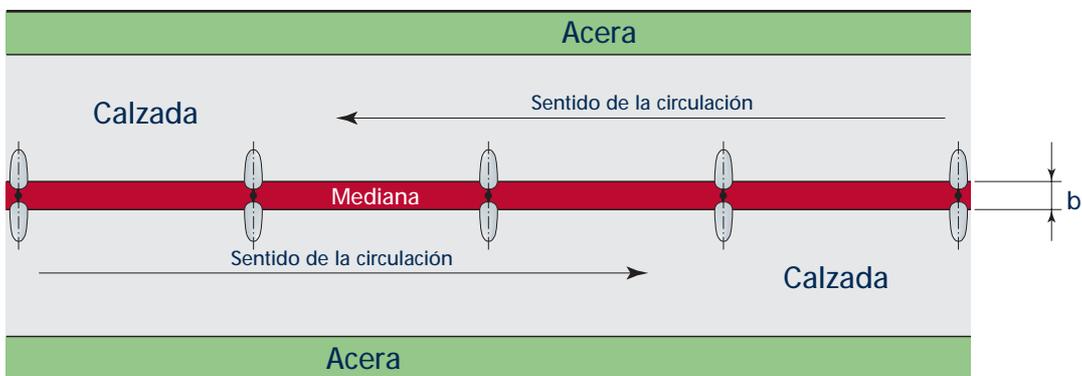


Figura 14. Implantación para valores $1 < b < 3$ m.

Para anchuras de medianas superiores a 3 m. no se utilizarán báculos dobles. En cualquier caso, la disposición se estudiará como si se tratara de dos calzadas independientes, dando lugar a las implantaciones de las figuras siguientes, recomendándose la de la Fig. 15 sobre la Fig. 16, ya que en este caso se puede incitar a los conductores de los vehículos para que circulen permanentemente por el carril de tráfico más próximo a la mediana (carril de la izquierda).

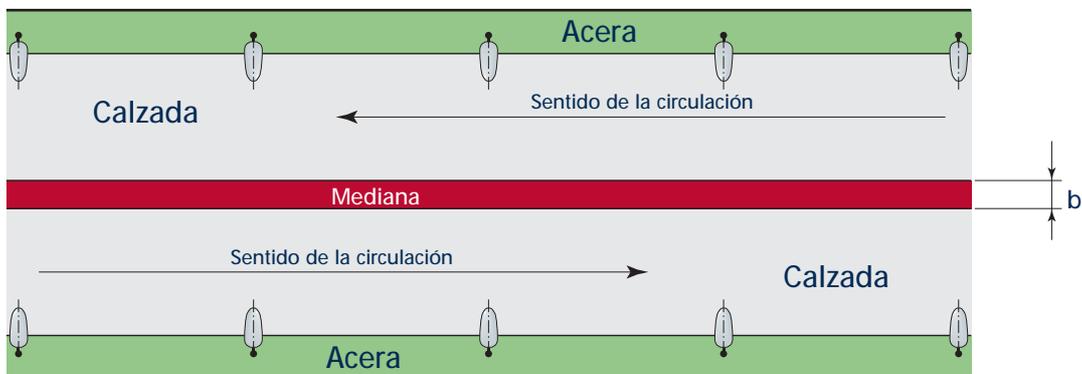


Figura 15. Implantación para valores de b cualesquiera.

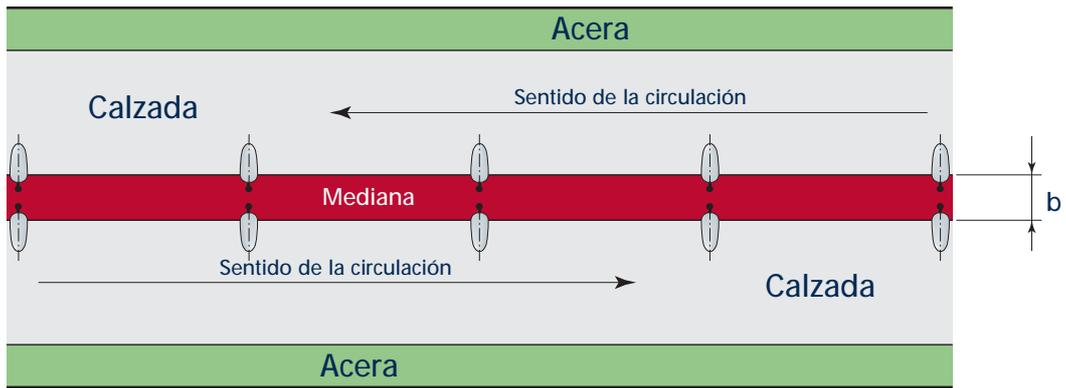


Figura 16. Implantación para valores de $b > 3m$.

12.4.2.5. Catenaria

Los puntos de luz se fijan axialmente a los cables longitudinales de la catenaria, tendida entre dos sólidos soportes implantados en la mediana central y situados a una gran distancia uno del otro, del orden de 50 a 100 m. (Fig. 17).

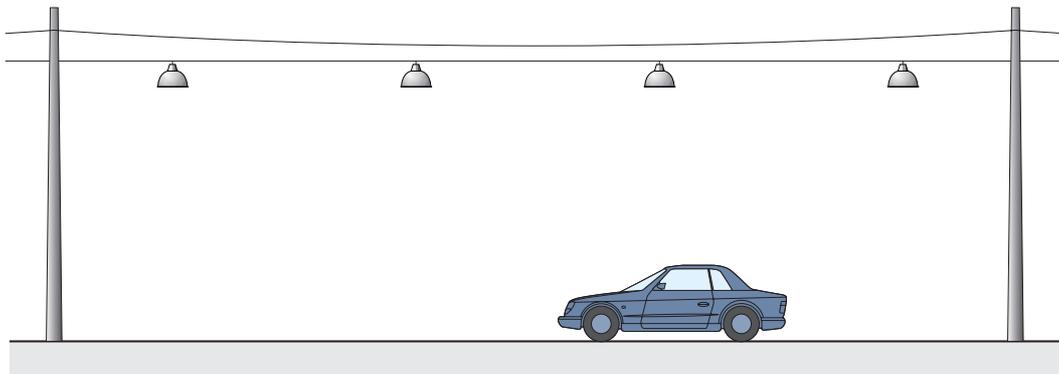


Figura 17. Implantación en catenaria.

Este tipo de distribución, tiene el grave inconveniente que los puntos de luz, son fácilmente movidos por la acción del viento, perdiendo parte de su efectividad.

12.4.2.6. Agrupaciones combinadas

También pueden utilizarse diferentes combinaciones de las cinco disposiciones básicas (unilateral, tresbolillo, pareada, central y catenaria). Por ejemplo, en vías de dos calzadas con mediana, suele resultar habitual combinar la implantación central y la bilateral en oposición (Fig.18 y 19).

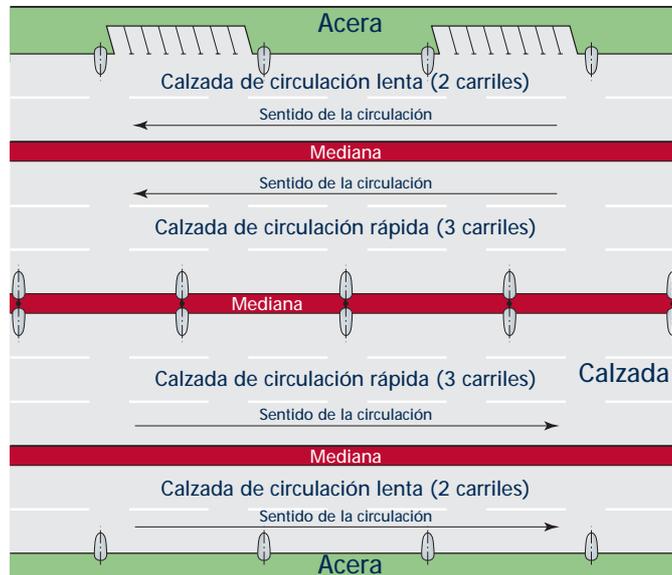


Figura 18. Agrupación combinada.

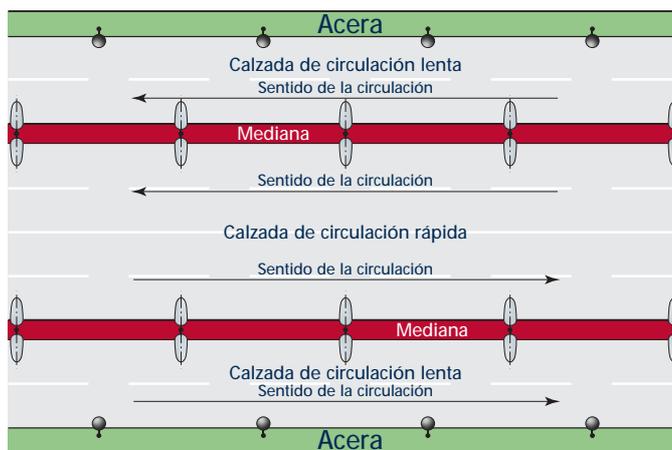


Figura 19. Agrupación combinada.

12.4.3. Disposición de puntos de luz en alzado

Para la disposición en alzado de los puntos de luz, la altura adoptada será la altura H de montaje elegida en los cálculos luminotécnicos. No obstante, existen casos especiales en los que la altura de montaje ha de fijarse en función de otros conceptos, como es el caso de vías de tráfico con arbolado próximo a los márgenes.

Si los árboles son de gran porte y se pueden despejar hasta una altura de 8 ó 10 metros, se colocarán las luminarias a dicha altura (Fig. 20).

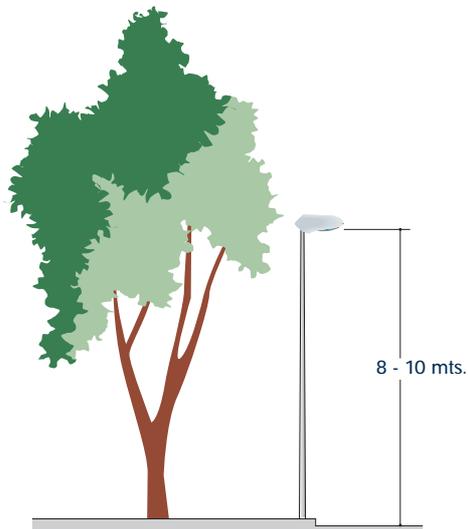


Figura 20. Alzado árboles gran porte.

Si los árboles son de pequeño porte, se dispondrán las luminarias a una altura de 12 a 15 metros (Fig. 21). En cualquier caso se considera conveniente efectuar periódicamente una poda adecuada de los árboles.

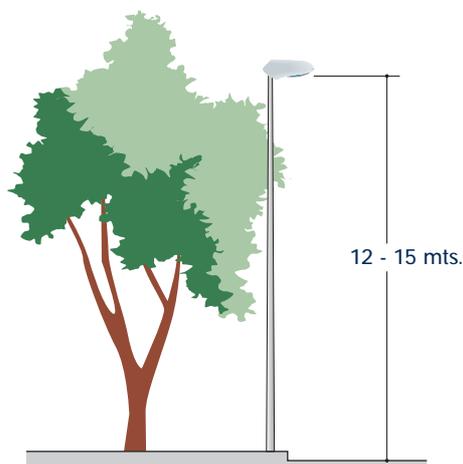


Figura 21. Alzado árboles pequeños.

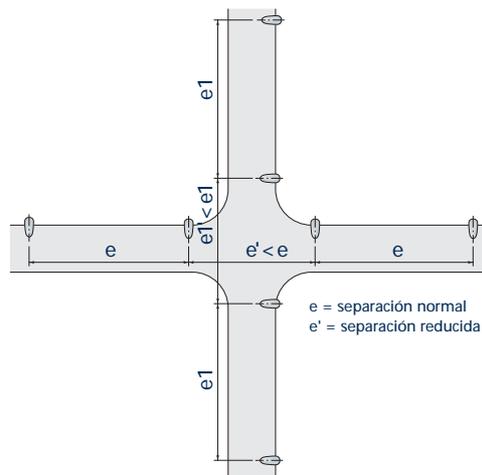
12.4.4. Disposición de puntos de luz en intersecciones

12.4.4.1. Intersecciones en ángulo recto con las dos calzadas iluminadas

En este tipo de intersecciones deben diferenciarse dos casos: cuando el tráfico de vehículos en las calzadas no está canalizado (Fig. 22 a 25), y cuando el tráfico de vehículos en una de las calzadas está canalizado mediante isletas direccionales de pequeñas dimensiones y en la otra no (Fig. 26).

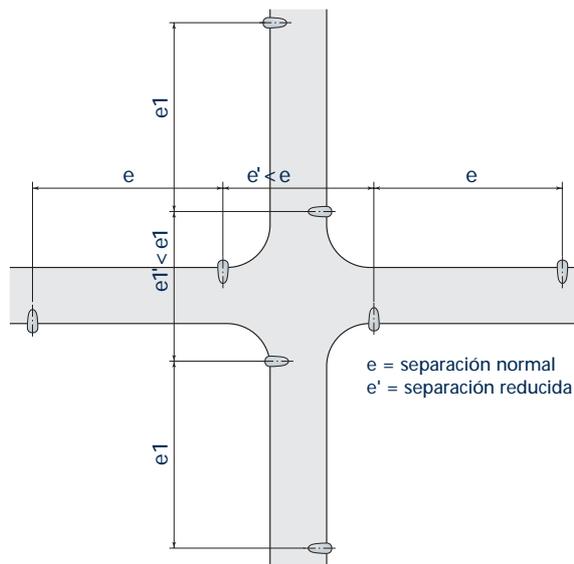
Cuando el tráfico de vehículos en las calzadas no está canalizado, la solución debe abordarse mediante la combinación de las implantaciones recomendadas para cada tipo de alumbrado (unilateral, al tresbolillo, axial, bilateral, etc.), tal y como se representa en las Fig. 22 a 25.

Los puntos de luz dibujados en la intersección en blanco sirven de base para la implantación del resto.



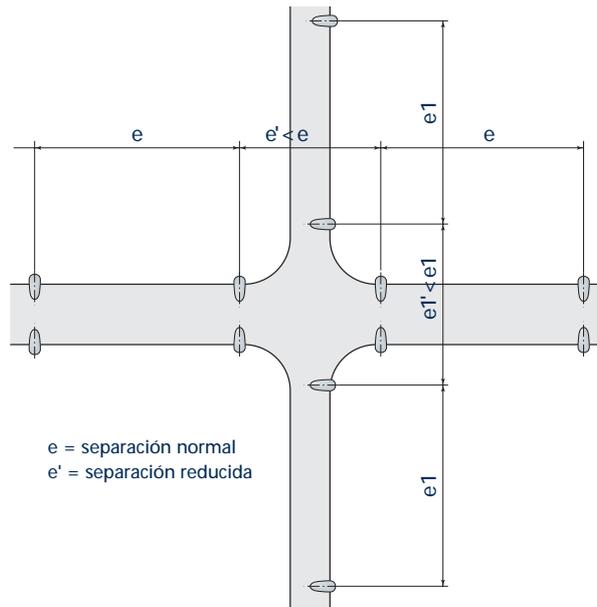
Intersección en ángulo recto: Implantación recomendada sobre dos calzadas iluminadas unilateralmente

Figura 22



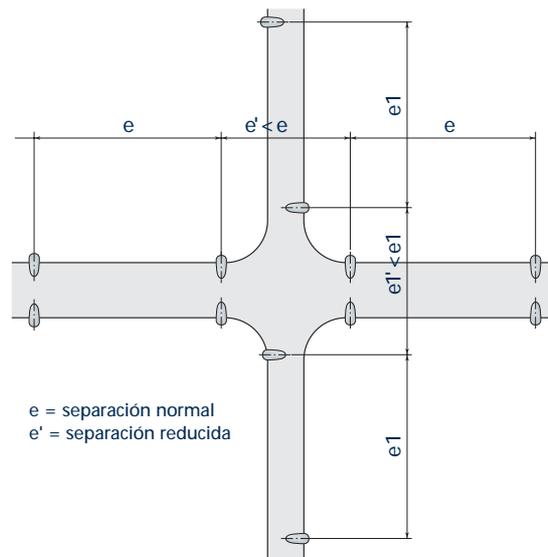
Intersección en ángulo recto: Implantación recomendada sobre dos calzadas iluminadas al tresbolillo

Figura 23



Intersección en ángulo recto: Implantación recomendada sobre dos calzadas iluminadas unilateral y bilateralmente

Figura 24



Intersección en ángulo recto: Implantación recomendada sobre dos calzadas iluminadas al tresbolillo y bilateralmente

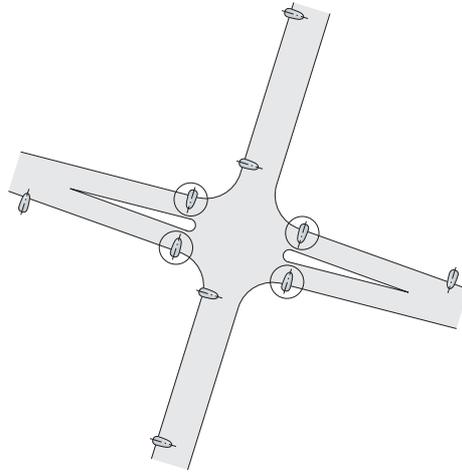
Figura 25

En el segundo caso, cuando el tráfico de vehículos en una de las calzadas está canalizado mediante isletas direccionales de pequeñas dimensiones y en la otra no (Fig. 26), la implantación de los puntos de luz debe comenzar por la calzada dotada de isletas, que se estudiará separadamente. Se iniciará el emplazamiento de los puntos de luz por la intersección, reduciendo la separación entre los mismos y continuando por la calzada con tráfico canalizado, adoptando cada uno de los sistemas de implantación que proceda (unilateral, al tresbolillo, axial, bilateral, etc.).

El origen de la ubicación de los puntos de luz del alumbrado de la calzada donde no está canalizado el tráfico mediante isletas se iniciará también en la intersección, ajustando los puntos de luz de acuerdo con los establecidos en la otra calzada, prosiguiendo con la colocación de los puntos de luz que proceda, de conformidad con las

características de la calzada (unilateral, al tresbolillo, axial, bilateral, etc.).

Eventualmente, el alumbrado del centro de la intersección podrá reforzarse instalando puntos de luz de mayor potencia, bien adoptando lámparas de mayor potencia o instalando dos luminarias por punto de luz o soporte.



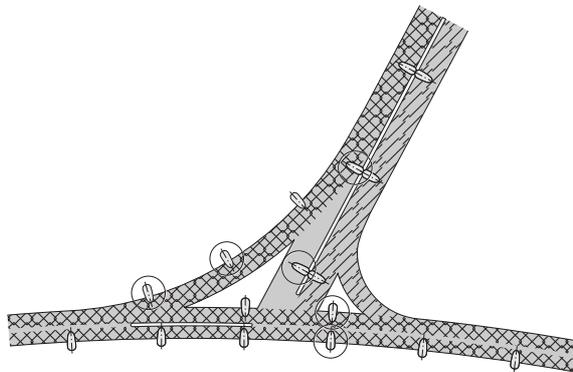
Intersección en "X": Puede ser útil dotar de mayor potencia a los puntos de luz rodeados con un círculo

Figura 26

12.4.4.2. Intersecciones en "T" de dos calzadas iluminadas parcialmente canalizadas

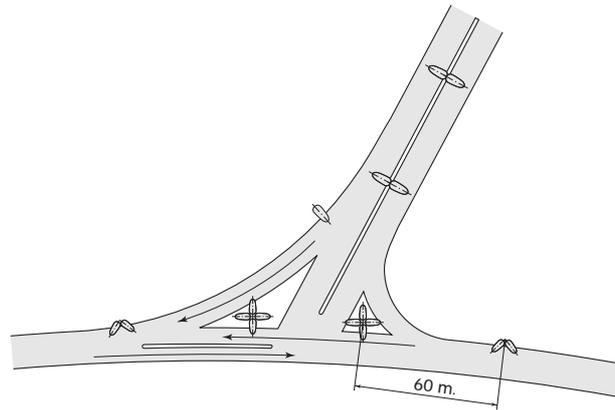
Para este tipo de intersecciones (Fig. 27) establece una implantación de puntos de luz recomendada para que los usuarios que llegan de la calzada que se enlaza, vean delante de ellos un fondo iluminado.

Esta solución no es la única; también se puede, en función de las condiciones locales, reducir el número de puntos de luz, utilizando otros de mayor potencia y altura de implantación (Fig. 28).



Intersección en "T": Ejemplo de implantación. Las zonas con doble rayado representan el efecto de guiado visual que debe procurar el alumbrado. Puede ser útil dotar de mayor potencia a los puntos de luz rodeados con un círculo

Figura 27.



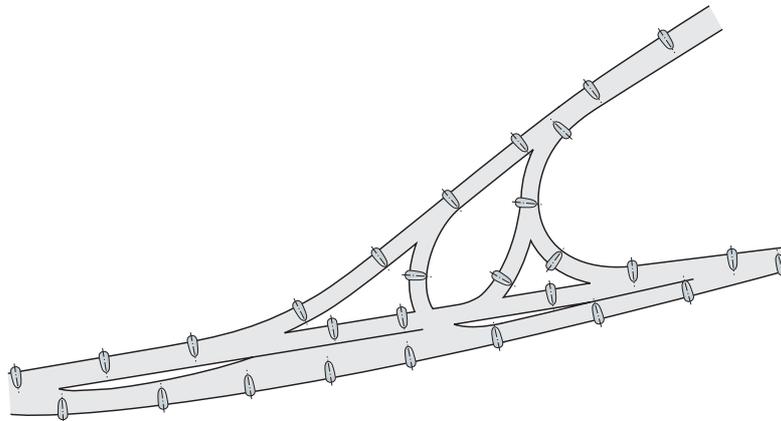
Intersección en "T": Ejemplo de implantación con puntos de luz de mayor potencia y altura de soportes que los de la figura 13.27. Punto de luz de 18 m. con 4 luminarias. Punto de luz de 18 m. con 2 luminarias. Punto de luz de 12 m. con 1 luminaria. Punto de luz de 12 m. con 2 luminarias

Figura 28

12.4.4.3. Intersecciones en "Y" o "T" de dos calzadas totalmente canalizadas

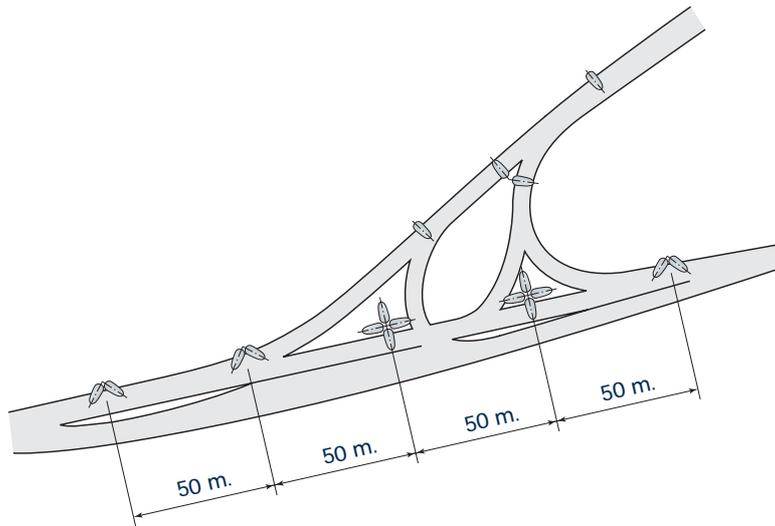
En la proximidad de tales intersecciones, generalmente los dos sentidos de circulación de vehículos están separados por isletas direccionales de grandes dimensiones, a lo largo de las cuales la implantación de los puntos de luz es unilateral (Fig. 29).

Asimismo, se pueden emplazar puntos de luz más potentes y de mayor altura (Fig. 30).



Intersección en "Y" o "T": Ejemplo de implantación unilateral sobre dos calzadas importantes totalmente canalizadas mediante isletas

Figura 29.

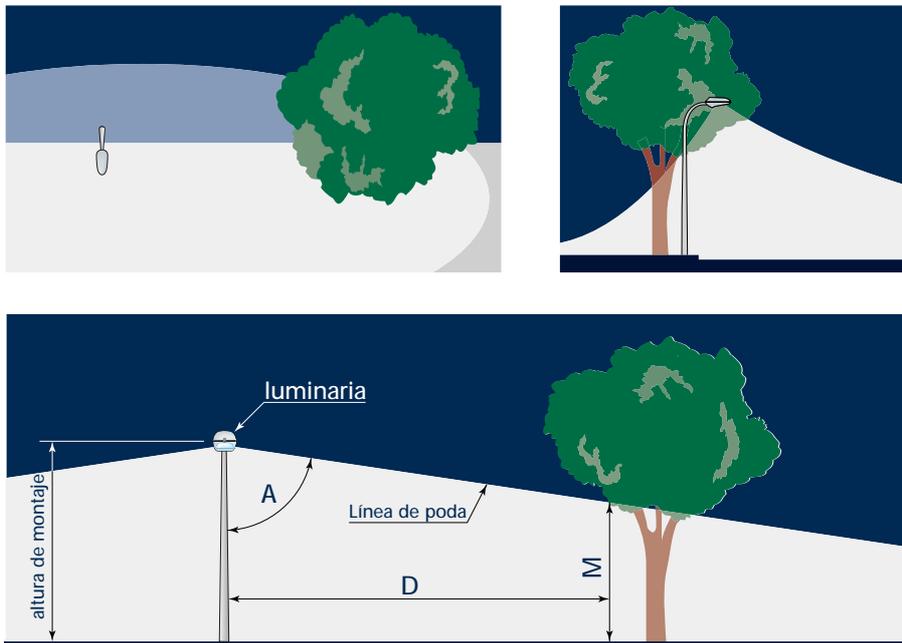


Intersección en "Y" o "T": Ejemplo de implantación unilateral con puntos de luz de mayor potencia y altura que los de la figura 13.29

Figura 30

12.4.5. Vegetación

Se requiere entendimiento y cooperación entre la vegetación y la iluminación para que ninguno interfiera en la labor o función que desempeña el otro.



Ángulo de línea de poda "A"	Altura de poda del árbol
70°	$M = 0,36 D$
75°	$M = 0,26 D$
80°	$M = 0,17 D$

Figura 31

La selección del tipo de arbusto o árbol ha de basarse en aquellos que dejen libre el espacio suficiente para la iluminación con la mínima interferencia entre ambos. Estas selecciones pueden incluir árboles de formas estilizadas, esféricas o normales. En la mayoría de los casos, un buen servicio de poda puede solucionar cualquier problema entre el arbolado y el alumbrado viario.

Hay que destacar que incluso en instalaciones con gran altura de montaje no es necesario podar todos los árboles hasta la altura de la luminaria. Sólo es necesario podar aquellas ramas que caen por debajo del haz luminoso útil (Fig. 31). La frondosidad del arbolado situado entre la luminaria y los objetos, puede servir para recortar y distinguir siluetas de forma intencionada, a la vez que ayuda a reducir el deslumbramiento directo de las luminarias sobre posibles observadores o conductores. Esta ventaja es particularmente importante en carreteras con tráfico local y áreas residenciales, donde se requieren interdistancias relativamente altas, junto con elevadas potencias y ángulos cercanos a la horizontal.

12.4.5.1. Criterios y compromisos de diseño

Para minimizar las interferencias de la iluminación con el arbolado, existen cierto tipo de compromisos que pueden aplicarse en los sistemas de alumbrado. A este respecto, se deberán tener en cuenta las posibles variaciones que puedan realizarse en la interdistancia, altura de montaje y situación transversal de los puntos de luz. Tales variaciones generalmente producen a su vez cambios en la distribución luminosa de la instalación de alumbrado.

12.4.5.2. Modificaciones de diseño

Sirva como ejemplo de modificación el que todas las luminarias puedan ser montadas sobre brazos largos. Esto generalmente incrementa el coste de instalación, pero mejora la efectividad de la iluminación, evitando o paliando la interferencia con la vegetación.

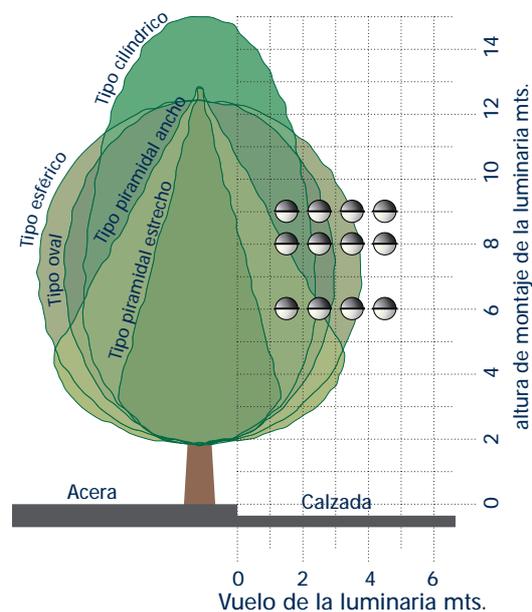


Figura 32

Otra posible modificación de diseño puede ser la suspensión de las luminarias mediante sistemas de catenaria sobre el centro de la calzada. El problema, en este caso, viene dado por el sobre coste que conlleva la utilización de dos soportes por luminaria. Una desventaja añadida a este sistema consiste en la pérdida de la eficacia que se produce en el alumbrado cuando las luminarias son sometidas a la acción del viento, dado que éste modifica su orientación y, por tanto, su distribución fotométrica.

Otra factible variación de diseño consiste en rebajar la altura de instalación de las luminarias por debajo de la vegetación, de forma que también se reduzca la potencia de las lámparas. El problema que plantea es también de

sobrecoste, puesto que se tiene que disminuir la interdistancia entre luminarias y, por tanto, aumentar su número, con lo que las ventajas desaparecen.

También se podrá llevar a cabo una última alteración de diseño, que consiste en el aumento de potencia de las lámparas para así compensar la luz que se ve obstaculizada en su camino hacia la calzada y aceras. Sin embargo, esto supone un claro inconveniente ya que aumenta el deslumbramiento directo de la luminaria y, sobre todo, incrementa el coste energético sin una mejora clara de la uniformidad luminosa.

12.4.5.3. Fundamentos de diseño

Cuando se ejecutan variaciones de la interdistancia longitudinal de los puntos de luz, para que no interfieran en el arbolado, se pueden asumir desviaciones de $\pm 10\%$ de la separación calculada con anterioridad, sin tener grandes diferencias en lo que a resultados se refiere.

Se podrán admitir diferencias máximas de un 20% de la interdistancia, siempre que no suceda en dos puntos de luz consecutivos. De todas formas, esta variación puede ser comprobada mediante cálculos que indiquen si se verifican todas las exigencias prefijadas anteriormente para las zonas en las que incide la modificación. Cuando se altera la separación de dos o más luminarias consecutivas, se deberá confirmar mediante la variación de otros parámetros, como pueden ser el emplazamiento transversal de los puntos de luz o la altura de implantación de los mismos.

La alineación de las luminarias sobre la calzada es un factor básico con respecto a la visibilidad y el aspecto o apariencia de la instalación. Únicamente cuando no sea posible de ninguna otra manera, se instalará una luminaria fuera de la alineación de las restantes.

La altura de las columnas o báculos que sustentan las luminarias será seleccionada de forma que se adecue a cada instalación en concreto. Cuanto más altos sean estos soportes, menos problemas se plantearán con la frondosidad de la vegetación, pero también es cierto que probablemente los costes puedan elevarse considerablemente.

12.4.5.4. Datos de diseño

Las Fig. 32 y 33 intentan ser una guía práctica cuando se plantean este tipo de dificultades entre la iluminación y la frondosidad del arbolado. Por ejemplo, para la situación transversal de la luminaria para diferentes alturas y tipos de vegetación.

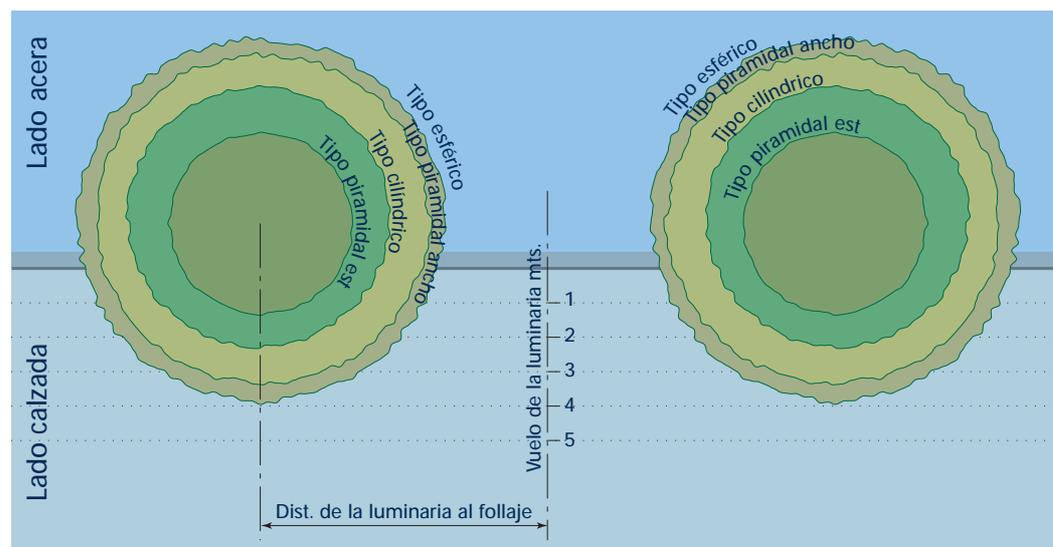


Figura 33

Aunque la iluminación de la calzada suele presentar interferencias con la vegetación, no se debe pasar por alto la iluminación de las aceras u otras zonas laterales de la calzada. Esto a veces puede resultar casi aún más importante

que la propia iluminación de la calzada en ciertas zonas residenciales o peatonales.

Para resolver este problema se pueden variar tres factores, que son:

- La ubicación y altura de implantación de la luminaria.
- Una poda correcta y regular.
- La adición de un punto de luz exclusivamente para el alumbrado de estas zonas, a una altura más baja que el alumbrado convencional viario