

GUIA:
METODOS PARA EL CALCULO DE ALUMBRADO
EN VIAS PÚBLICAS

AUTOR: ALIS ERNARDO CARVAJAL RANGEL
INGENIERO ELECTRICISTA
CIV: 236.514

ALI PROYECTOS

INDICE GENERAL

Contenido

ALUMBRADO DE VIAS PUBLICAS	3
Iluminancia	3
Luminancia	3
Criterios de calidad.....	5
Coeficientes de uniformidad	5
Deslumbramiento.....	5
Coeficiente de iluminación en los alrededores.....	6
Lámparas y luminarias.....	6
Disposición de las luminarias en la vía	9
Niveles de iluminación recomendados	12
AREAS RESIDENCIALES Y PEATONALES	14
Requisitos del alumbrado	14
Niveles de alumbrado	14
Lámparas y luminarias.....	15
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	17

ALUMBRADO DE VIAS PUBLICAS

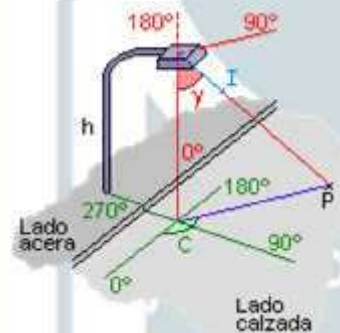
Contrariamente a lo que se pueda pensar, detrás de los cálculos y recomendaciones sobre alumbrado de vías públicas existe un importante desarrollo teórico sobre diferentes temas (pavimentos, deslumbramiento, confort visual, etc.). Afortunadamente, hoy día estos cálculos están muy mecanizados y no es necesario tener profundos conocimientos en la materia para realizarlos. No obstante, es recomendable tener nociones de algunos de ellos para comprender mejor la mecánica de cálculo. Así tras estudiar algunos conceptos previos de iluminación, veremos soluciones prácticas de alumbrado viario y los niveles de iluminación recomendados.

Iluminancia

La iluminancia indica la cantidad de luz que llega a una superficie y se define como el flujo luminoso recibido por unidad de superficie:

$$E = \frac{d\Phi}{ds}$$

Si la expresamos en función de la intensidad luminosa nos queda como:


$$E_H = \frac{I(C, \gamma)}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma$$

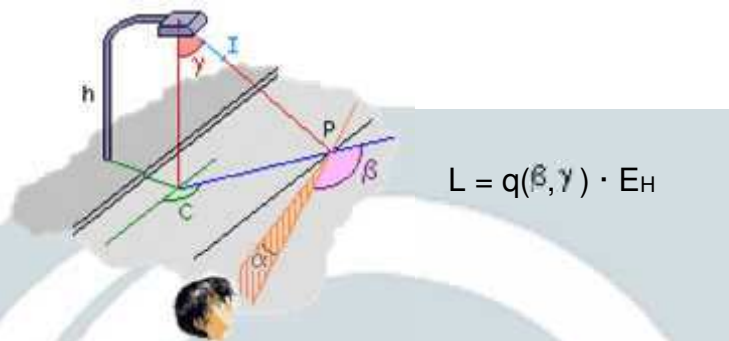
donde I es la intensidad recibida por el punto P en la dirección definida por el par de ángulos (C, γ) y h la altura del foco luminoso. Si el punto está iluminado por más de una lámpara, la iluminancia total recibida es entonces:

$$E_H = \sum_{i=1}^n \frac{I(C_i, \gamma_i)}{h_i^2} \cdot \cos^3 \gamma_i$$

Luminancia

La luminancia, por contra, es una medida de la luz que llega al ojo procedente de los objetos y es la responsable de excitar la retina provocando la visión. Esta luz proviene de la reflexión que sufre la iluminancia cuando incide sobre los cuerpos.

Se puede definir, pues, como la porción de intensidad luminosa por unidad de superficie que es reflejada por la calzada en dirección al ojo.



Donde q es el coeficiente de luminancia en el punto P que depende básicamente del ángulo de incidencia γ y del ángulo entre el plano de incidencia y el de observación β . El efecto del ángulo de observación α es despreciable para la mayoría de conductores (automovilistas con campo visual entre 60 y 160 m por delante y una altura de 1,5 m sobre el suelo) y no se tiene en cuenta. Así pues, nos queda:

$$L = \frac{I(C, \gamma) \cdot \cos^3 \gamma}{h^2} \cdot q(\beta, \gamma)$$

Por comodidad de cálculo, se define el término:

$$r(\beta, \gamma) = q(\beta, \gamma) \cdot \cos^3 \gamma$$

Quedando finalmente:

$$L = \frac{I(C, \gamma) \cdot r(\beta, \gamma)}{h^2}$$

Y si el punto está iluminado por más de una lámpara, resulta:

$$L = \sum_{i=1}^n \frac{I(C_i, \gamma_i) \cdot r(\beta_i, \gamma_i)}{h_i^2}$$

Los valores de $r(\beta, \gamma)$ se encuentran tabulados o incorporados a programas de cálculo y dependen de las características de los pavimentos utilizados en la vía.

Criterios de calidad

Para determinar si una instalación es adecuada y cumple con todos los requisitos de seguridad y visibilidad necesarios se establecen una serie de parámetros que sirven como criterios de calidad. Son la luminancia media (L_m , L_{AV}), los coeficientes de uniformidad (U_0 , U_L), el deslumbramiento (TI y G) y el coeficiente de iluminación de los alrededores (SR).

Coeficientes de uniformidad

Como criterios de calidad y evaluación de la uniformidad de la iluminación en la vía se analizan el rendimiento visual en términos del coeficiente global de uniformidad U_0 y la comodidad visual mediante el coeficiente longitudinal de uniformidad U_L (medido a lo largo de la línea central).

$$U_0 = L_{\min} / L_m \qquad U_L = L_{\min} / L_{\max}$$

Deslumbramiento

El deslumbramiento producido por las farolas o los reflejos en la calzada, es un problema considerable por sus posibles repercusiones. En sí mismo, no es más que una sensación molesta que dificulta la visión pudiendo, en casos extremos, llegar a provocar ceguera transitoria. Se hace necesario, por tanto, cuantificar este fenómeno y establecer unos criterios de calidad que eviten estas situaciones peligrosas para los usuarios.

Se llama **deslumbramiento molesto** a aquella sensación desagradable que sufrimos cuando la luz que llega a nuestros ojos es demasiado intensa. Este fenómeno se evalúa de acuerdo a una escala numérica, obtenida de estudios estadísticos, que va del deslumbramiento insoportable al inapreciable.

G	Deslumbramiento	Evaluación del alumbrado
1	Insoportable	Malo
3	Molesto	Inadecuado
5	Admisible	Regular
7	Satisfactorio	Bueno
9	Inapreciable	Excelente

Donde la fórmula de G se calcula a partir de características de la luminaria y la instalación.

Actualmente no se utiliza mucho porque se considera que siempre que no se excedan los límites del deslumbramiento perturbador este está bajo control.

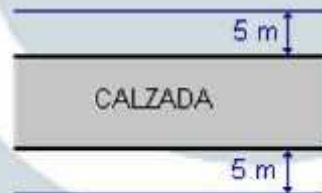
El **deslumbramiento perturbador** se produce por la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cesar su causa. No obstante, este fenómeno no lleva necesariamente asociado una sensación incómoda como el deslumbramiento molesto. Para evaluar la pérdida de visión se utiliza el criterio del incremento de umbral (TI) expresado en tanto por ciento:

$$TI = 65 \frac{L_v}{(L_m)^{0.5}}$$

Donde L_v es la luminancia de velo equivalente y L_m es la luminancia media de la calzada.

Coeficiente de iluminación en los alrededores

El coeficiente de iluminación en los alrededores (*Surround Ratio*, SR) es una medida de la iluminación en las zonas limítrofes de la vía. De esta manera se asegura que los objetos, vehículos o peatones que se encuentren allí sean visibles para los conductores. SR se obtiene calculando la iluminancia media de una franja de 5 m de ancho a cada lado de la calzada.



Lámparas y luminarias

Las **lámparas** son los aparatos encargados de generar la luz. En la actualidad, en alumbrado público se utilizan las lámparas de descarga frente a las lámparas incandescentes por sus mejores prestaciones y mayor ahorro energético y económico. Concretamente, se emplean las lámparas de vapor de mercurio a alta presión y las de vapor de sodio a baja y alta presión.

Las **luminarias**, por contra, son aparatos destinados a alojar, soportar y proteger la lámpara y sus elementos auxiliares además de concentrar y dirigir el flujo luminoso de esta. Para ello, adoptan diversas formas aunque en alumbrado público predominan las de flujo asimétrico con las que se consigue una mayor superficie iluminada sobre la calzada. Las podemos encontrar montadas sobre postes, columnas o suspendidas sobre cables transversales a la calzada, en catenarias colgadas a lo largo de la vía o como proyectores en plazas y cruces.

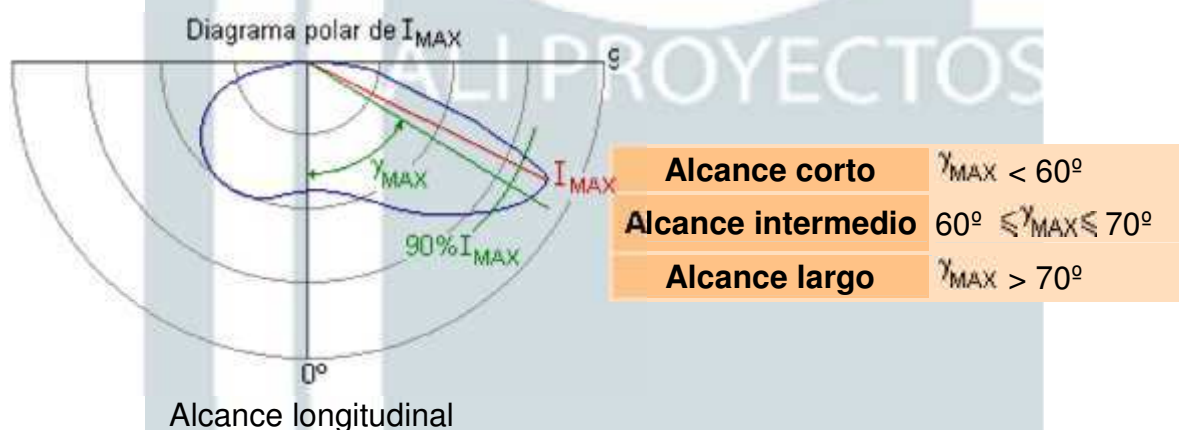
Antiguamente las luminarias se clasificaban según las denominaciones cut-off, semi cut-off y non cut-off.

	Máximo valor permitido de la intensidad emitida para un ángulo de elevación		Dirección de la intensidad máxima
	80 °	90 °	
Cut-off	≤ 30 cd /1000 lm	≤ 10 cd /1000 lm	≤ 65 °
Semi cut-off	≤ 100 cd /1000 lm	≤ 50 cd /1000 lm	≤ 75 °
Non cut-off	> 100 cd /1000 lm	> 50 cd /1000 lm	≤ 90 °

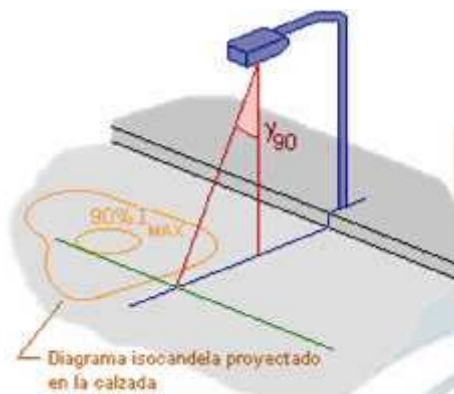
Clasificación para luminarias de alumbrado público (CIE 1965)

En la actualidad, las luminarias se clasifican según tres parámetros (alcance, dispersión y control) que dependen de sus características fotométricas. Los dos primeros nos informan sobre la distancia en que es capaz de iluminar la luminaria en las direcciones longitudinal y transversal respectivamente. Mientras, el control nos da una idea sobre el deslumbramiento que produce la luminaria a los usuarios.

El **alcance** es la distancia, determinada por el ángulo γ_{MAX} , en que la luminaria es capaz de iluminar la calzada en dirección longitudinal. Este ángulo se calcula como el valor medio entre los dos ángulos correspondientes al 90% de I_{MAX} que corresponden al plano donde la luminaria presenta el máximo de la intensidad luminosa.



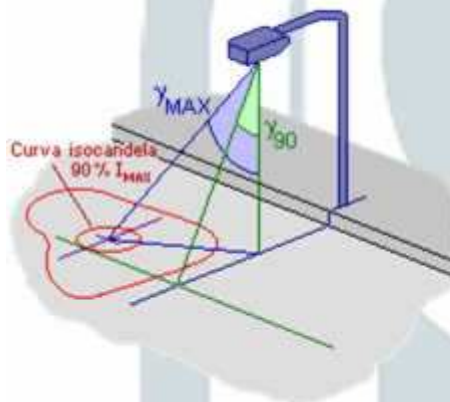
La **dispersión** es la distancia, determinada por el ángulo γ_{90} , en que es capaz de iluminar la luminaria en dirección transversal a la calzada. Se define como la recta tangente a la curva isocandela del 90% de I_{MAX} proyectada sobre la calzada, que es paralela al eje de esta y se encuentra más alejada de la luminaria.



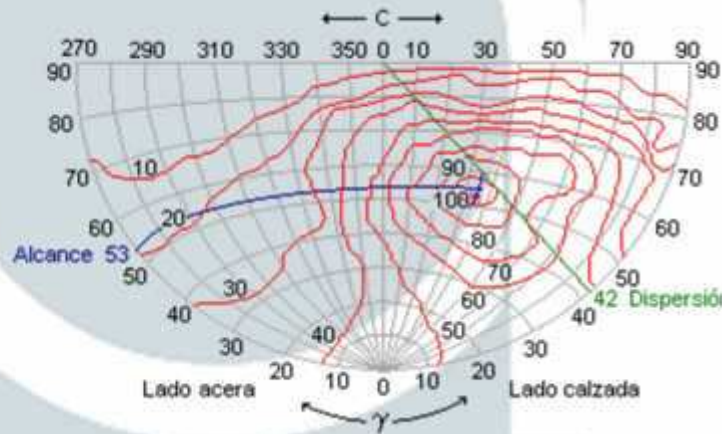
Dispersión transversal

Dispersión estrecha	$\gamma_{90} < 45^\circ$
Dispersión media	$45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$
Dispersión ancha	$\gamma_{90} > 55^\circ$

Tanto el alcance como la dispersión pueden calcularse gráficamente a partir del diagrama isocandela relativo en proyección azimutal.



Alcance y dispersión de una luminaria



Método gráfico para calcular el alcance y la dispersión

Por último, el **control** nos da una idea de la capacidad de la luminaria para limitar el deslumbramiento que produce.

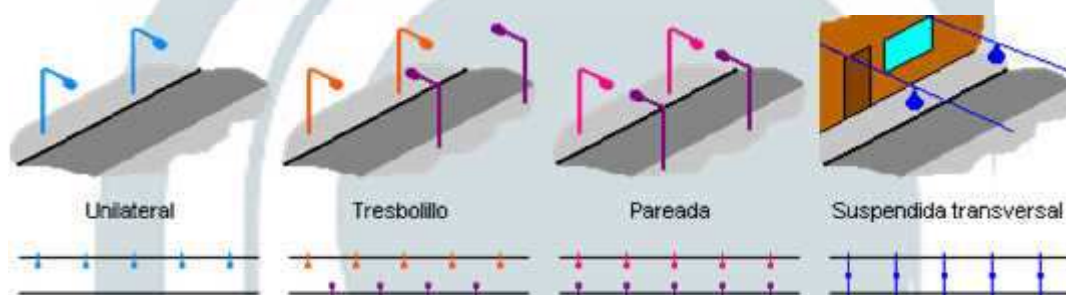
Control limitado	$SLI < 2$
Control medio	$2 \leq SLI \leq 4$
Control intenso	$SLI > 4$

Donde la fórmula del SLI (índice específico de la luminaria) se calcula a a partir de las características de esta.

Disposición de las luminarias en la vía

Para conseguir una buena iluminación, no basta con realizar los cálculos, debe proporcionarse información extra que oriente y advierta al conductor con suficiente antelación de las características y trazado de la vía. Así en curvas es recomendable situar las farolas en la exterior de la misma, en autopistas de varias calzadas ponerlas en la mediana o cambiar el color de las lámparas en las salidas.

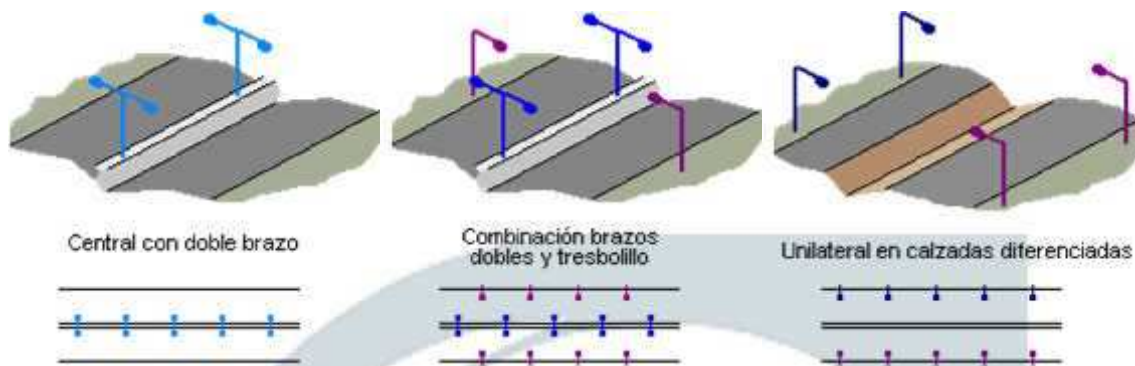
En los **tramos rectos de vías con una única calzada** existen tres disposiciones básicas: unilateral, bilateral tresbolillo y bilateral pareada. También es posible suspender la luminaria de un cable transversal pero sólo se usa en calles muy estrechas.



La distribución unilateral se recomienda si la anchura de la vía es menor que la altura de montaje de las luminarias. La bilateral tresbolillo si está comprendida entre 1 y 1.5 veces la altura de montaje y la bilateral pareada si es mayor de 1.5.

	Relación entre la anchura de la vía y la altura de montaje
Unilateral	$A/H < 1$
Tresbolillo	$1 \leq A/H \leq 1.5$
Pareada	$A/H > 1.5$
Suspendida	Calles muy estrechas

En el caso de **tramos rectos de vías con dos o más calzadas** separadas por una mediana se pueden colocar las luminarias sobre la mediana o considerar las dos calzadas de forma independiente. Si la mediana es estrecha se pueden colocar farolas de doble brazo que dan una buena orientación visual y tienen muchas ventajas constructivas y de instalación por su simplicidad. Si la mediana es muy ancha es preferible tratar las calzadas de forma separada. Pueden combinarse los brazos dobles con la disposición al tresbolillo o aplicar iluminación unilateral en cada una de ellas. En este último caso es recomendable poner las luminarias en el lado contrario a la mediana porque de esta forma incitamos al usuario a circular por el carril de la derecha.

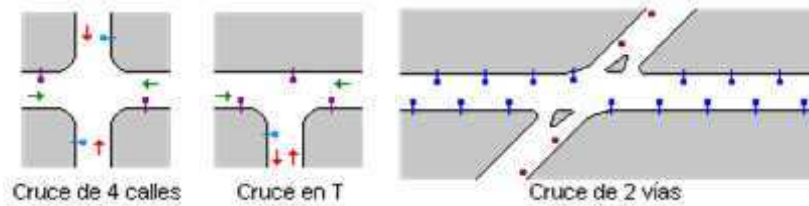


En **tramos curvos** las reglas a seguir son proporcionar una buena orientación visual y hacer menor la separación entre las luminarias cuanto menor sea el radio de la curva. Si la curvatura es grande ($R > 300$ m) se considerará como un tramo recto. Si es pequeña y la anchura de la vía es menor de 1.5 veces la altura de las luminarias se adoptará una disposición unilateral por el lado exterior de la curva. En el caso contrario se recurrirá a una disposición bilateral pareada, nunca tresbolillo pues no informa sobre el trazado de la carretera.

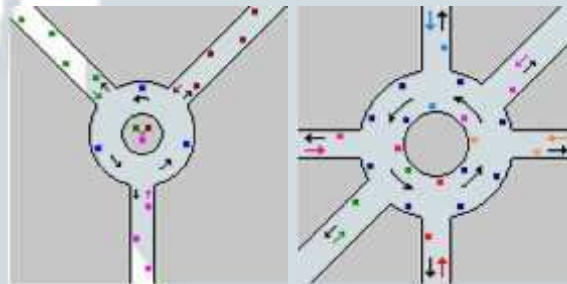


$R > 300$ m	Asimilar a un tramo recto
$R < 300$ m	$A/H < 1.5$ Unilateral exterior
	$A/H > 1.5$ Bilateral pareada

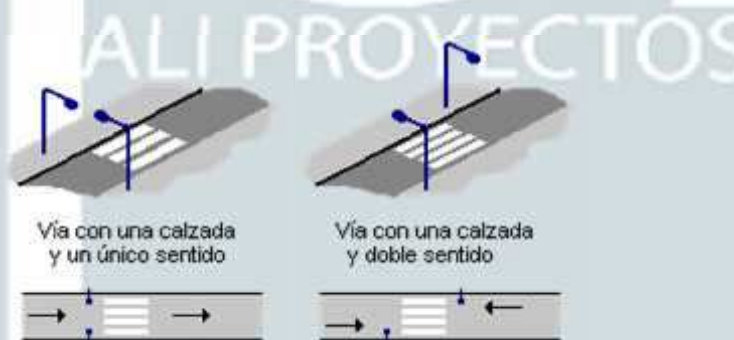
En **cruces** conviene que el nivel de iluminación sea superior al de las vías que confluyen en él para mejorar la visibilidad. Asimismo, es recomendable situar las farolas en el lado derecho de la calzada y después del cruce. Si tiene forma de T hay que poner una luminaria al final de la calle que termina. En las salidas de autopistas conviene colocar luces de distinto color al de la vía principal para destacarlas. En cruces y bifurcaciones complicados es mejor recurrir a iluminación con proyectores situados en postes altos, más de 20 m, pues desorienta menos al conductor y proporciona una iluminación agradable y uniforme.



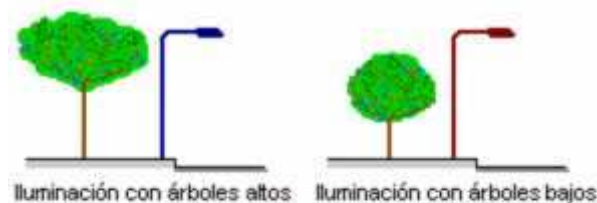
En las **plazas y glorietas** se instalarán luminarias en el borde exterior de estas para que iluminen los accesos y salidas. La altura de los postes y el nivel de iluminación será por lo menos igual al de la calle más importante que desemboque en ella. Además, se pondrán luces en las vías de acceso para que los vehículos vean a los peatones que crucen cuando abandonen la plaza. Si son pequeñas y el terraplén central no es muy grande ni tiene arbolado se puede iluminar con un poste alto multibrazo. En otros casos es mejor situar las luminarias en el borde del terraplén en las prolongaciones de las calles que desemboca en esta.



En los **pasos de peatones** las luminarias se colocarán antes de estos según el sentido de la marcha de tal manera que sea bien visible tanto por los peatones como por los conductores.



Por último, hay que considerar la **presencia de árboles en la vía**. Si estos son altos, de unos 8 a 10 metros, las luminarias se situarán a su misma altura. Pero si son pequeños las farolas usadas serán más altas que estos, de 12 a 15 m de altura. En ambos casos es recomendable una poda periódica de los árboles.



Niveles de iluminación recomendados

Los niveles de iluminación recomendados dependen de las normativas en vigor en cada territorio, aunque muchas de ellas toman como referencia los valores aconsejados por la CIE. Según esta, las vías se dividen en cinco tipos de acuerdo con las características del tráfico, de la vía y de los alrededores.

Tipo de vía	Entorno	Categoría	Luminancia media Lm (cd/m ²)	Coeficientes de uniformidad		Control del deslumbramiento	
				Global U ₀	Longitudinal U _L	Molesto G	Perturbador TI
A		A	≥2			≥6	
B	Claro	B1	≥2		≥0.7	≥5	≤10 %
	Oscuro	B2	≥1			≥6	
C	Claro	C1	≥2	≥0.4		≥5	≤20 %
	Oscuro	C2	≥1			≥6	≤10 %
D	Claro	D	≥2		≥0.5	≥4	
E	Claro	E1	≥1			≥4	≤20 %
	Oscuro	E2	≥0.5			≥5	

Valores recomendados por la CIE (1977)

Los valores indicados en la tabla son luminancias, no iluminancias, pues recordemos que son estas las responsables de provocar la sensación de visión.

A partir de 1995 la CIE ha establecido unas nuevas recomendaciones más acordes con las últimas investigaciones sobre el tema.

Categoría	Luminancia media L_m (cd/m^2)	Coeficientes de uniformidad		Control del deslumbramiento TI	Alrededores SR
		Global U_0	Perturbador TI		
M1	≥ 2.00	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10	≥ 0.5
M2	≥ 1.50		≥ 0.5		
M3	≥ 1.00		≥ 0.5		
M4	≥ 0.75		---	≤ 15	---
M5	≥ 0.50		---		

Valores recomendados por la CIE (1995)

Además de estas recomendaciones que se aplican en los tramos normales de las vías hay que considerar que en las zonas conflictivas (cruces, intersecciones, estrechamiento de la vía o del número de carriles, zonas con circulación de peatones o vehículos lentos que dificulten la circulación, rotondas, pasos a nivel, rampas, etc.) suele ser necesario un incremento de los requerimientos luminosos.

Si trabajamos con luminancias hay que aumentar en una unidad la categoría de la vía de valor de M_x más alta que converja en la zona. Cuando sea del tipo M1 a dicha zona también se aplicará este criterio.

En distancias cortas, menos de 60 m, no se pueden aplicar los métodos de cálculos de las luminancias y se utiliza el criterio de las iluminancias.

Categoría	Nivel medio iluminancia E_m (lux)	Coef global uniformidad U_0
C0	≥ 50	≥ 0.4
C1	≥ 30	
C2	≥ 20	
C3	≥ 15	
C4	≥ 10	
C5	≥ 7.5	

El número de la categoría de la zona de conflicto (C_x) no será menor que el de la vía de mayor categoría (M_x) que confluya en la zona.

AREAS RESIDENCIALES Y PEATONALES

Al contrario que en el alumbrado viario donde prima ofrecer unas buenas condiciones de iluminación y seguridad vial, en el alumbrado de áreas residenciales y peatonales existe un gran abanico de posibilidades que van desde iluminar zonas comerciales al simple guiado visual. Todo esto hace que el trabajo en este tipo de vías adquiera un carácter multidisciplinar donde intervienen diseñadores, urbanistas, arquitectos e ingenieros. Es por ello conveniente analizar los usos y requerimientos de la vía para determinar los niveles de alumbrado más adecuado y las lámparas y luminarias a utilizar.

Requisitos del alumbrado

Cuando se pretenden iluminar áreas residenciales y peatonales se busca conjugar la orientación y seguridad de movimientos con la seguridad personal de peatones y vecinos. En esta línea es importante que el alumbrado permita ver con anticipación los obstáculos del camino, reconocer el entorno y orientarse adecuadamente por las calles, el reconocimiento mutuo de los transeúntes a una distancia mínima de cuatro metros que permita reaccionar en caso de peligro, disuadir a ladrones e intrusos y en caso que esto no ocurra revelar su presencia a los vecinos y peatones.

Además de todo esto, es conveniente una integración visual de estas zonas con el entorno en que se encuentren igualándolas al resto o dándoles un carácter propio. Si por las zonas peatonales existe tráfico de vehículos se iluminará como si se tratara de una vía pública normal y corriente.

El tratamiento del **deslumbramiento** en este tipo de vías, es mucho más sencillo que en el caso de tráfico motorizado debido a la gran diferencia de velocidad entre estos y los transeúntes. Los peatones debido a su baja velocidad se adaptan bien a los cambios de luminancia. Habrá, no obstante, que evitar colocar luminarias sin apantallar al nivel de los ojos y vigilar la luminancia de las lámparas en ángulos críticos que provoquen molestias a los transeúntes. Así mismo, conviene evitar que las luces molesten a los vecinos en su descanso nocturno.

Niveles de alumbrado

Los niveles de iluminación recomendados varían según el uso al que esté destinado la zona. Así, encontramos desde valores mínimos de iluminancia de 0.2 lux que permiten orientarse y ver los obstáculos del camino hasta los 20 lux que proporcionan un ambiente atractivo para las zonas de gran actividad nocturna. No obstante, en la mayoría de casos, un nivel de 5 lux bastará para ofrecer unas buenas condiciones de alumbrado que permitan la orientación y ofrezcan sensación de seguridad a los transeúntes.

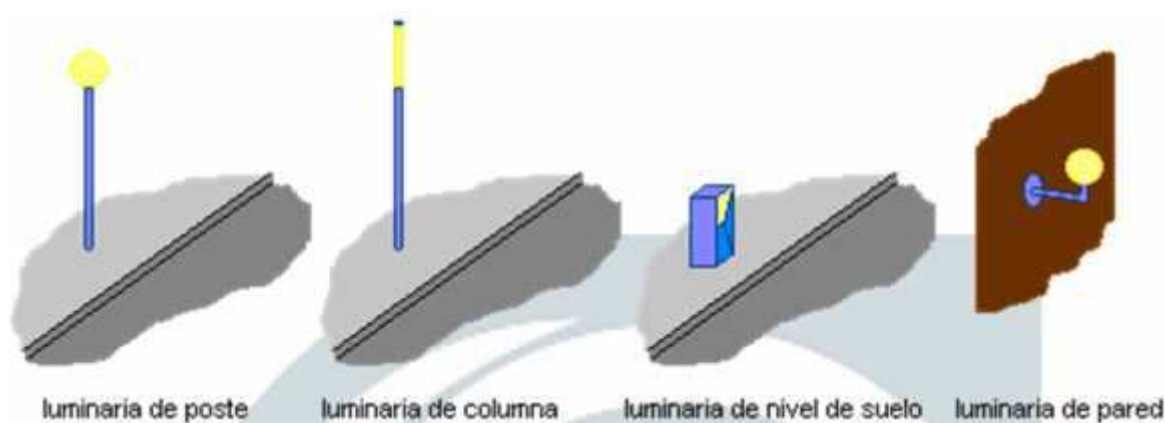
Clasificación según el uso nocturno hecho por los peatones	Categoría	Nivel medio iluminancia Em (lux)	Nivel mínimo iluminancia Emin (lux)
Calles en zonas privilegiadas (áreas comerciales, de ocio...)	P1	20	7.5
Calles de uso alto	P2	10	3.0
Calles de uso moderado	P3	7.5	1.5
Calles de uso menor. Solamente asociado a propiedades adyacentes	P4	5.0	1.0
Calles de uso menor donde sea importante preservar el carácter de ambiente rural o la arquitectura	P5	3.0	0.6
Calles de uso muy bajo donde sea importante preservar el carácter de ambiente rural o la arquitectura	P6	1.5	0.2
Calles donde sólo es necesario el guiado visual	P7	-	-

CIE (1995)

Lámparas y luminarias

Para el alumbrado en zonas peatonales se prefieren **lámparas** de temperatura de color próximas a la de las lámparas incandescentes (2750 K) que usamos en nuestras casas. En concreto se usarán principalmente lámparas entre 2000 y 3000 K, aunque se puede ampliar el intervalo a 1800 - 3300 K. Se podrán usar, por lo tanto, una gran diversidad de lámparas como las de vapor de sodio, mercurio, o fluorescentes dependiendo del efecto que busquemos, las condiciones de la zona a iluminar y los aspectos económicos.

Las **luminarias** adoptan multitud de formas desde las más funcionales hasta las de diseño más vanguardista y artístico. Como la forma y el control del haz de luz pierden importancia en favor del ambiente, existe una gran libertad de elección; desde las luminarias de haz general-difuso de globo hasta las de haz controlado. Entre las posibilidades de montaje es normal encontrarlas sobre postes o columnas, adosadas a las fachadas, colgadas sobre cables o al nivel del suelo cuando sólo buscamos ambiente y orientación visual. No obstante, cuando el tráfico motorizado sea significativo recurriremos a las típicas farolas de báculo tan habituales en el alumbrado viario.



La altura de montaje dependerá del flujo de las lámparas a emplear y en todo caso se evitará colocarlas al nivel de los ojos sin apantallar. Otra posibilidad es colocar luminarias de menos de un metro como se hace en algunas plazas y jardines para crear una atmósfera especial.

Flujo luminoso lámpara (lm)	Altura de montaje recomendada (m)
<7000	3
7000-14000	3.5-4
14000-25000	4-6
>25000	>6

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- *Aplicaciones eficientes de lámparas.* (1996).Comité Español de Iluminación (CEI), Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Cuadernos de eficiencia energética en iluminación, nº 1.
- *Aplicaciones eficientes de luminarias.* (1996).Comité Español de Iluminación (CEI), Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Cuadernos de eficiencia energética en iluminación, nº 2.
- Chapa Carreón, J. (1990). *Manual de instalaciones de alumbrado y fotometría.* Editorial Limusa.
- Enríquez Harper, G. (1987). *El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas de baja tensión.* Editorial Limusa.
- *Manual de alumbrado PHILIPS.* (1984). Editorial Paraninfo.
- *Manual de alumbrado WESTINGHOUSE.* (1979). Editorial Dossat.
- Pritchard, D.C. (1996). *Lighting.* Longman Group Limited. Fifth edition.
- Ramírez Vázquez, J. (1990). *Luminotecnia. Enciclopedia CEAC de electricidad.* 7ª ed. Ediciones CEAC.
- Urraca Piñeiro, J.I. (1988). *Tratado de Alumbrado Público.* Ed Donostiarra.