

# CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

14.1	Introducción	261
14.2	Seguridad y niveles de iluminación	261
14.3	Visión de contraste	262
14.4	Sistema de zonificación	263
14.5	Criterios de elección de lámparas	263
14.6	Limitaciones del flujo hemisférico superior	264
14.7	Otras características de las luminarias	264
14.8	Distancias entre zonas y el punto de referencia	265
14.9	Características fotométricas de los pavimentos	265
14.10	Variaciones temporales de los niveles de iluminación	265
14.11	Recomendaciones para reducir la contaminación lumínica	266
14.12	Anexo: "Valores orientativos recomendables para la limitación de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior"	268



## 14.1. Generalidades

Desde sus orígenes, el hombre siempre se ha preocupado por el origen y el destino de nuestro planeta así como sobre la existencia de la vida terrestre, y el estudio del firmamento siempre ha estado ligado a esta preocupación. Desde principios del siglo XX y por primera vez en la Historia, la visión nocturna de nuestro firmamento está siendo amenazada, sin apenas darnos cuenta, por la anárquica iluminación de los asentamientos urbanos. La contaminación lumínica sobre los cielos de nuestros pueblos y ciudades nos impide contemplar uno de los espectáculos más bellos. El cielo ha sido y es una inspiración para la humanidad. Sin embargo, su contemplación se hace cada vez más difícil e, incluso, para las jóvenes generaciones empieza a resultar desconocido.

Es por ello que el "Comité Español de Iluminación", mediante un informe técnico, ha desarrollado una *Guía para la Reducción del Resplandor Luminoso Nocturno* la cual vamos a exponer a continuación.

*La contaminación lumínica se define como el brillo o resplandor luminoso nocturno en el cielo, producido por la difusión y reflexión de la luz artificial en los gases y partículas en suspensión de la atmósfera.* Este resplandor, generalmente producido en parte por las fuentes de luz instaladas en las zonas exteriores, hacen que se incremente el brillo del fondo natural del cielo, disminuyendo progresivamente el valor de magnitud de observación de los objetos astronómicos y perjudicando la observación.

Debe distinguirse el brillo natural, atribuible a la radiación de las fuentes u objetos celestes y a la luminiscencia de las capas altas de la atmósfera, del resplandor luminoso debido a las fuentes de luz artificial instaladas en zonas exteriores. En este último caso, tienen que considerarse las emisiones directas hacia arriba de diversas fuentes de luz artificial, así como la radiación reflejada por las superficies iluminadas por dichas fuentes de luz.

Con la finalidad de reducir la contaminación lumínica imputable a las fuentes de luz artificiales se deberá actuar, por una parte, sobre los propios aparatos o luminarias que emiten luz y, por otra, sobre la instalación de alumbrado implantando el número mínimo de puntos de luz que permita alcanzar los niveles luminosos requeridos sin superarlos, lo que conllevará, en el caso de alumbrado viario, a establecer determinadas recomendaciones sobre los tipos de pavimentos de las calzadas a utilizar.

Asimismo, deberá tenerse en cuenta la variación temporal o disminución de los niveles luminosos a ciertas horas de la noche en las que desciende substancialmente la intensidad de tráfico, siempre y cuando quede garantizada la seguridad de los usuarios de dichas vías.

Por otra parte, deben considerarse los criterios de elección de lámparas, especialmente en las proximidades de los observatorios astronómicos de categoría internacional o zona "E 1", donde se recomienda la instalación únicamente de lámparas de vapor de sodio de alta y baja presión, implantando con preferencia estas últimas, ya que al no emitir dentro de la zona del ultravioleta (ondas de gran energía con largo alcance) no se producen interferencias con los equipos de telemetría y espectrografía de los observatorios astronómicos.

Además, deben contemplarse otras alternativas para paliar la contaminación lumínica o resplandor luminoso en el cielo, en lo relativo a las iluminaciones publicitarias y ornamentales.

También hay que destacar que la contaminación lumínica o brillo achacable a las fuentes de luz artificial, no obedece exclusivamente al diseño o concepción de las instalaciones de iluminación, sino que también depende de las condiciones atmosféricas (humedad, nubes, niebla, aerosoles, contaminación atmosférica, etc.).

En resumen, la contaminación lumínica está determinada por dos factores principalmente:

- La emisión de luz procedente de las luminarias de alumbrado público, ya sea por emisión directa (luz no controlada en el hemisferio superior de la luminaria) o por emisión indirecta (reflexión de la luz en las paredes, calzadas o superficies a iluminar).
- Las fuentes de luz empleadas en el alumbrado exterior, ya que sus diferentes espectros de emisión pueden ser más o menos perjudiciales.

## 14.2. Seguridad y niveles de iluminación

En el ámbito de la Unión Europea existe un considerable número de tráfico que circula por la noche, con una media de alrededor de un 25%. Asimismo, la proporción de accidentes mortales nocturnos oscila entre un 25% y un 59%, con una media de un 48'5%. En España, con un tráfico nocturno de vehículos de un 24'3%, el número de muertos por accidentes producidos durante la noche asciende a un 43%.

La causa principal de tasas tan elevadas de accidentes nocturnos es la propia oscuridad, ya que las capacidades visuales de los conductores (agudeza y campo visual, apreciación de distancias, visión de contraste, percepción cromática y tolerancia al deslumbramiento) son alteradas desfavorablemente debido a los bajos o nulos niveles luminosos existentes y, en consecuencia, la visibilidad queda muy reducida por la noche.

Según los estudios de la C.I.E. ha quedado demostrado que el alumbrado de las vías de tráfico rodado reduce el total de accidentes en un 30% durante el periodo nocturno.

La tarea visual y las necesidades de los peatones difieren de las de los conductores en muchos aspectos. La velocidad del movimiento es menor, y la percepción de los objetos que rodean a los peatones tiene más importancia que la visión de los que están más distanciados. Por tanto, los criterios de calidad del alumbrado peatonal no pueden ser iguales a los de las vías de tráfico rodado. En áreas urbanas tiene mayor significación para los peatones la percepción de su entorno inmediato, al objeto de evitar cualquier tipo de delito (robos, vandalismos, agresiones sexuales, actos de terrorismo, etc.).

La decisión de si debe o no preverse alumbrado para una vía pública en una zona o lugar determinado debe tomarse sobre la base de un detallado estudio. Una vez que se haya adoptado la decisión de acometer la instalación de alumbrado, los criterios de diseño y niveles de iluminación se ajustarán, evitando su superación, a lo establecido en las siguientes publicaciones de la C.I.E.:

- *Publicación C.I.E. 47: 1979* Alumbrado de carreteras en condiciones mojadas.
- *Publicación C.I.E. 66: 1984* Pavimentos de carreteras y alumbrado.
- *Publicación C.I.E. 92: 1992* Guía para el alumbrado de áreas urbanas.
- *Publicación C.I.E. 115: 1995* Recomendaciones para alumbrado de carreteras con tráfico motorizado y peatonal.
- *Publicación C.I.E. 126: 1997* Guía para minimizar la luminosidad del cielo.

No obstante, podrán rebasarse los niveles luminosos establecidos en las anteriores publicaciones hasta un 20%, salvo en casos debidamente justificados en los que sería posible sobrepasar dicho porcentaje.

En lo que respecta a los elementos que constituyen la instalación, cálculos luminotécnicos, mediciones, mantenimiento, etc. se estará a lo dispuesto en las publicaciones de la C.I.E. siguientes:

- *Publicación C.I.E. 30.2: 1982* Cálculo y mediciones de la luminancia y la iluminancia en el alumbrado de carreteras.
- *Publicación C.I.E. 31: 1976* Deslumbramiento y uniformidad en las instalaciones de alumbrado de carreteras.
- *Publicación C.I.E. 32/AB: 1977* Puntos especiales en alumbrado público.
- *Publicación C.I.E. 33: 1977* Depreciación y mantenimiento de instalaciones de alumbrado público.
- *Publicación C.I.E. 34: 1977* Luminarias para alumbrado de carreteras: datos fotométricos, clasificación y prestaciones.
- *Publicación C.I.E. 121: 1996* Fotometría y goniometría de las luminarias.

### 14.3. Visión de contraste

La visibilidad de un objeto situado sobre un fondo, depende de la diferencia de luminancias entre el objeto y el fondo. Un objeto claro sobre fondo oscuro, su contraste será positivo (valores entre 0 e infinito), en cambio un objeto más oscuro que su fondo se verá en silueta y su contraste será negativo, variando entre 0 y (-1).

Por definición, el contraste se expresa de la siguiente forma:

$$C = \frac{L_0 - L_f}{L_f}$$

Siendo:

$L_0$ = Luminancia del objeto.

$L_f$ = Luminancia de fondo.

El contraste C puede ser positivo o negativo:

Si  $L_0 > L_f$   $C > 0$  contraste positivo (objeto más claro que el fondo).

Si  $L_0 < L_f$   $C < 0$  contraste negativo (objeto más oscuro que el fondo).

El contraste  $C$  puede adquirir los siguientes valores:

Contraste positivo (objeto claro)  $0 < C < \infty$

Contraste negativo (objeto oscuro)  $-1 < C < 0$

La contaminación lumínica o resplandor luminoso nocturno en el cielo produce un velo en el campo de observación que tiene su propia luminancia  $L_v$ , que se añade a la luminancia del objeto y del fondo, de forma que el nuevo contraste  $C'$  es el siguiente:

$$C' = \frac{(L_o + L_v) - (L_f + L_v)}{(L_f - L_v)} = \frac{L_o - L_f}{L_f - L_v}$$

Siempre se verifica que  $C' < C$ , dado que el numerador es el mismo y el denominador es siempre mayor.

Cuando la luminancia de velo  $L_v$  aumenta, el objeto observado puede desaparecer del campo visual, particularmente en el caso de observaciones astronómicas cuando se trata de una estrella u objeto celeste con una luminancia  $L_o$  muy débil.

#### 14.4. Sistema de zonificación

Las potenciales contradicciones entre las exigencias fotométricas relativas a la actividad humana nocturna, seguridad en la circulación de vehículos y peatones, calidad de vida, integridad del entorno, propiedades, bienes, etc. y la contaminación lumínica o resplandor luminoso nocturno en el cielo que dificulta las observaciones astronómicas de los objetos celestes, deben abordarse para adoptar las soluciones posibles.

En materia de medio ambiente, cuando una actividad contaminante no puede ser totalmente controlada, la idea básica consiste en evitar que las consecuencias ambientales debidas a la contaminación perjudiquen igualmente en todas las localizaciones o situaciones. El sistema de zonificación no detiene la contaminación ambiental, pero sirve como marco de referencia para la legislación y regulación anticontaminante.

Para limitar las interferencias producidas por la contaminación lumínica a los observatorios astronómicos denominados "punto de referencia", la introducción del sistema de zonificación responde a dos propósitos. Por una parte, permite establecer los requisitos de iluminación en una zona donde se encuentra el "punto de referencia". Por otro lado, posibilita fijar las exigencias de iluminación en otras zonas, adyacentes o no, a la zona particular donde está ubicado el "punto de referencia".

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	DESCRIPCIÓN
E 1	ÁREAS CON ENTORNOS OSCUROS: Observatorios astronómicos de categoría Internacional
E 2	ÁREAS DE BAJO BRILLO: Áreas rurales
E 3	ÁREAS DE BRILLO MEDIO: Áreas urbanas residenciales
E 4	ÁREAS DE BRILLO ALTO: Centros urbanos con elevada actividad nocturna

Tabla 1. Descripción del sistema de zonificación.

Los parques nacionales y áreas de especial belleza natural tendrán el mismo tratamiento que la zona "E 1", en lo que respecta a las limitaciones del flujo hemisférico superior instalado establecidas en la Tabla 2, no siendo de aplicación el régimen de distancias al resto de zonas recogido en la Tabla 4.

#### 14.5. Criterios de elección de lámparas

Se recomienda la utilización de lámparas del tipo de descarga. En vías de tráfico rodado y zonas urbanas se utilizarán preferentemente lámparas de vapor de sodio a alta presión, debido a su elevada eficacia luminosa ( $lm/W$ ) y mejor rendimiento de color que las lámparas de vapor de sodio a baja presión, cuyo uso podría ser también recomendable en carreteras a cielo abierto, zonas rurales y áreas que requieran alumbrado de seguridad. Asimismo, en zonas ajardinadas, cascos históricos, etc. podrían emplearse lámparas de vapor de mercurio a alta presión, halogenuros metálicos, etc.

En la zona "E 1" donde se encuentra el "punto de referencia" (observatorios astronómicos de categoría internacional), se recomienda instalar lámparas de vapor de sodio a alta y baja presión, implantando con preferencia estas últimas.

### 14.6. Limitaciones del flujo hemisférico superior

Se define el flujo hemisférico superior instalado  $FHS_{inst}$  emitido por una luminaria como el dirigido por encima del plano horizontal. Dicho plano corresponde al ángulo  $\gamma = 90^\circ$  en el sistema de representación  $(C, \gamma)$ . El flujo hemisférico se expresa en tanto por ciento del flujo total emitido por la luminaria.

En la Tabla 2 se establecen los límites o valores máximos del flujo hemisférico superior instalado  $FHS_{inst}$ , para cada una de las zonas.

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	FLUJO HEMISFERIO SUPERIOR INSTALADO $FHS_{inst}$ (%)
E 1	0
E 2	0-5
E 3	0-15
E 4	0-25

Tabla 2. Valores límite del flujo hemisférico superior instalado.

A modo de ejemplo en la Tabla 3 se hace constar el tipo de observaciones astronómicas realizables en cada zona.

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	ACTIVIDADES ASTRONÓMICAS
E 1	Observatorios de categoría Internacional
E 2	Observatorios de estudios académicos y postgrados
E 3	Observatorios amateurs
E 4	Observaciones esporádicas

Tabla 3. Actividades astronómicas realizables en cada zona.

No obstante, en el caso de iluminación de autopistas y autovías, vías urbanas importantes, rondas de circunvalación, etc. se recomienda instalar luminarias con un flujo hemisférico superior instalado  $FHS_{inst}$  [ 5%.

En el caso de alumbrados peatonales, así como artísticos con faroles, aparatos históricos, etc., se sugiere un  $FHS_{inst}$  [ 25%.

Cuando se agote la vida de las instalaciones de alumbrado, o por cualquier causa se proceda a su renovación, se recomienda implantar luminarias con las limitaciones de flujo hemisférico superior señaladas en este apartado.

Se aconseja el establecimiento de programas de sustitución de luminarias existentes cuyo flujo hemisférico superior instalado sea mayor del 25% ( $FHS_{inst}/25\%$ ), por luminarias que cumplan los valores recomendados en este epígrafe.

### 14.7. Otras características de las luminarias

Considerando que el rendimiento de una luminaria es la relación entre el flujo emitido por la luminaria y el flujo producido por la lámpara, en el caso de instalaciones de alumbrado de vías de tráfico rodado, se propone implantar preferentemente luminarias con rendimientos iguales o superiores al 70% (lámpara tubular clara) o al 60% (lámpara ovoide opal).

Asimismo, se sugiere que las luminarias a emplear en alumbrados peatonales, los faroles artísticos, aparatos históricos, etc. estén provistos de bloque óptico, de forma que al tiempo que se controla la emisión de luz en el hemisferio superior, se aumente el factor de utilización en el hemisferio inferior.

En todos los supuestos, la distribución fotométrica de las luminarias se considera deberá ser la adecuada para obtener la máxima eficiencia energética de la instalación.

## 14.8. Distancias entre zonas y el punto de referencia

La contaminación lumínica o resplandor luminoso nocturno en el cielo de una zona específica, por ejemplo, la zona particular donde se encuentra el "punto de referencia" (observatorios astronómicos de categoría internacional), es debida a las dimensiones de esa zona y su propia iluminación, así como a la iluminación de las zonas vecinas o colindantes. Por tanto, también debe considerarse la iluminación de las zonas de alrededor de la que contiene el "punto de referencia".

La influencia de la iluminación de estas zonas vecinas o colindantes, sobre el total de la contaminación lumínica en el "punto de referencia", depende de las distancias entre las fronteras de las zonas y el "punto de referencia".

En la Tabla 4 se establecen las distancias en Km. recomendadas entre los límites de cada zona (E 1, E 2, E 3, E 4) y el "punto de referencia".

ZONA DEL PUNTO DE REFERENCIA	DISTANCIA ENTRE LOS LÍMITES DE LAS ZONAS		
	E 1 - E 2	E 2 - E 3	E 3 - E 4
E 1	1	10	100
E 2		1	10
E 3			1
E 4	SIN LÍMITES		

Tabla 4. Distancias mínimas en Km. entre los límites de cada zona.

Para la correcta utilización de la Tabla 4, en primer lugar debe seleccionarse la zona donde se encuentra situado el "punto de referencia" y a continuación, en la Tabla 4, se obtiene la distancia mínima en Km. donde comienza la zona siguiente, y así sucesivamente para el resto de zonas colindantes.

Los valores consignados en la Tabla 4 se han deducido de la experiencia práctica, aún cuando el número de casos estudiados ha sido limitado.

## 14.9. Características fotométricas de los pavimentos

Siempre que las características constructivas, composición y sistema de ejecución resulten idóneos respecto a la textura, resistencia al deslizamiento, lisura, drenaje de la superficie, etc., en las calzadas de las vías de tráfico se recomienda utilizar pavimentos cuyas características y propiedades reflexivas resulten adecuadas para las instalaciones de alumbrado público, al objeto de lograr la máxima luminancia y uniformidad a igualdad de iluminancia consiguiéndose, por tanto, una mayor separación entre puntos de luz.

La luminosidad del pavimento de una calzada está estrechamente relacionada con las propiedades fotométricas del mismo y, en concreto, con el coeficiente de luminancia medio  $Q_0$  del pavimento, de forma que cuanto más elevado es dicho coeficiente, a idéntica iluminancia, mayor es la luminancia de la calzada y menor resulta, el deslumbramiento perturbador TI. El factor especular  $S_1$  determina en qué medida las características del pavimento, respecto a la reflexión de la luz incidente, se separan de las de una superficie que asegure una reflexión difusa perfecta de forma que, a igualdad de iluminancia, cuanto más bajo es el factor especular  $S_1$  mayores son las uniformidades de luminancia.

De todo lo anterior se deduce que, siempre que sea factible, en las calzadas de las vías de tráfico se aconseja utilizar pavimentos con un coeficiente de luminancia medio o grado de luminosidad  $Q_0$  lo más elevado posible, y cuyo factor especular  $S_1$  sea bajo.

## 14.10. Variaciones temporales de los niveles de iluminación

En las vías de tráfico, zonas peatonales, carriles bici, etc., podrán reducirse los niveles luminosos a ciertas horas de la noche, siempre que quede garantizada la seguridad de los usuarios.

En puntos concretos con elevados porcentajes de accidentalidad nocturna, zonas peatonales con considerable riesgo de criminalidad, etc., se recomienda por razones de seguridad no llevar a cabo variaciones temporales de los niveles de iluminación.

En ningún caso la reducción descenderá por debajo del nivel de iluminación aconsejable para la seguridad de tráfico y para el movimiento peatonal.

La reducción de los niveles luminosos mediante apagado de puntos de luz no es recomendable, y en el supuesto de utilizar dicho procedimiento, deben mantenerse las uniformidades mínimas establecidas en las publicaciones de la C.I.E.

La reducción con sistemas de regulación, se estima es el procedimiento más adecuado ya que evita zonas de sombra y muros de luz que dificultan la visión, manteniendo las uniformidades.

### 14.11. Recomendaciones para reducir la contaminación lumínica

Entre las posibles alternativas para reducir la contaminación lumínica o resplandor luminoso nocturno en el cielo se recomiendan las siguientes:

- Apagar las iluminaciones publicitarias y ornamentales a partir de una hora determinada.
- Dirigir la luz en sentido descendente y no ascendente siempre que sea posible, especialmente en la iluminación de edificios y monumentos (Fig. 1).

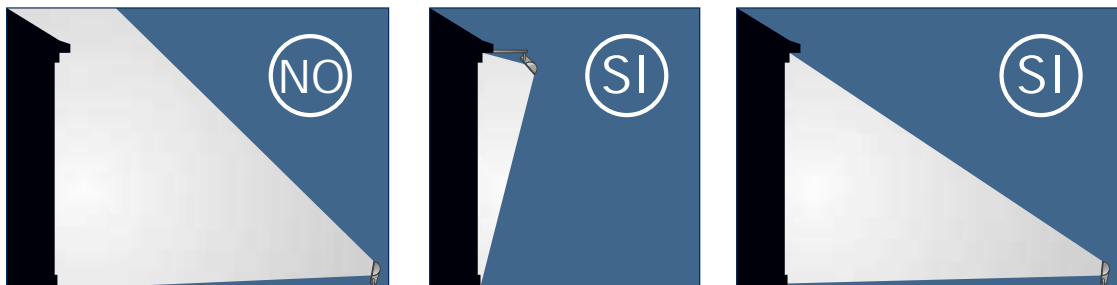


Figura 1

- Si no existe la posibilidad de cambiar el sentido de iluminación hacia abajo y no hacia arriba, utilizar pantallas y paralúmenes para evitar la dispersión del haz luminoso (Fig. 2).



Figura 2

- Instalar equipos de iluminación que reduzcan la dispersión de la luz sobre el plano horizontal del aparato de iluminación, con valores mínimos e incluso nulos por encima de dicho plano (Fig. 3 y 4).



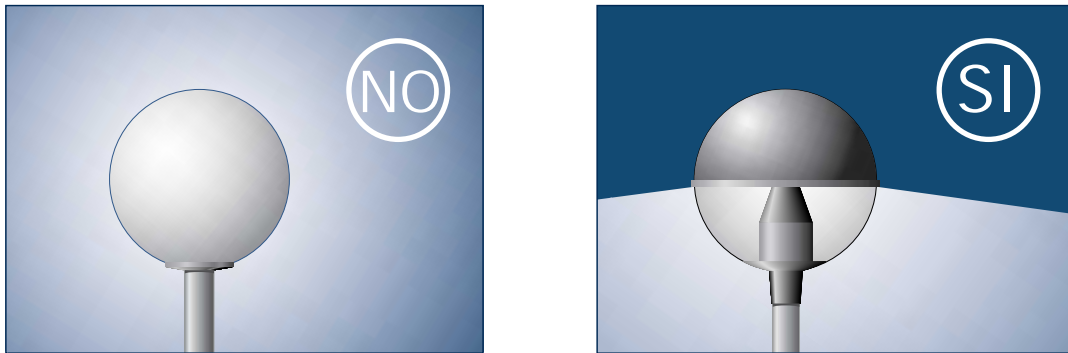


Figura 3.

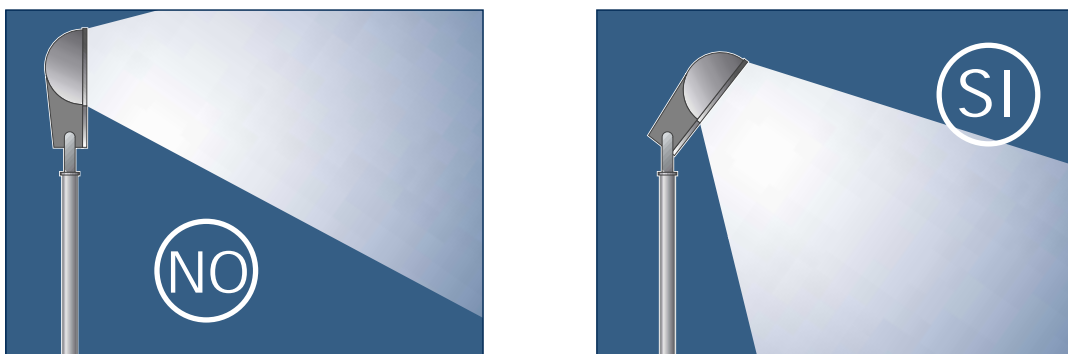


Figura 4

- Para que el deslumbramiento sea mínimo, dirigir hacia abajo el haz de los rayos luminosos manteniéndolo por debajo de  $70^\circ$ . Si se eleva la altura de montaje, debería disminuirse el ángulo del haz de los rayos luminosos. En lugares con luz ambiental baja, el deslumbramiento puede ser muy molesto, por lo que se debe cuidar con esmero el posicionamiento y el apuntamiento u orientación de los aparatos de iluminación (Fig. 5).

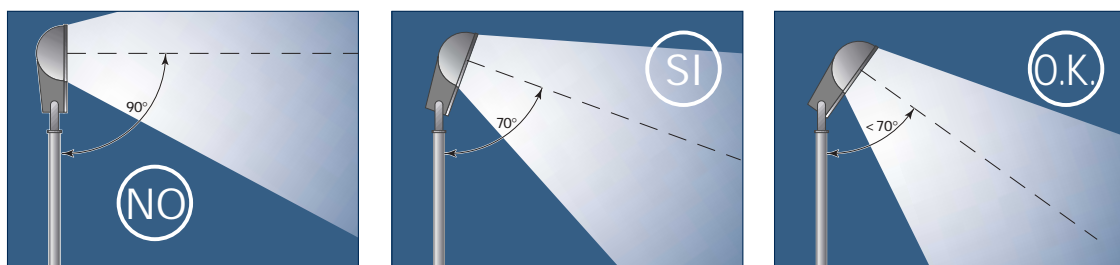


Figura 5

- Cuando resulte posible, se recomienda implantar aparatos con reflector asimétrico que permitan mantener su cierre frontal paralelo o casi paralelo a la superficie que se quiera iluminar (Fig. 6).

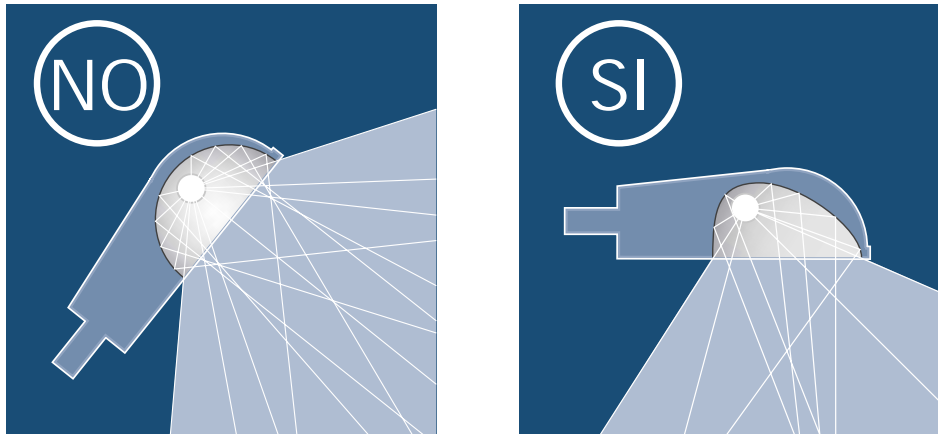


Figura 6

- Para evitar instalar exceso de luz, se deben cumplir las recomendaciones que fijan los niveles para iluminar las diversas tareas con las tolerancias permitidas.
- En el caso de pequeñas iluminaciones de seguridad y alumbrados domésticos existen dos soluciones:
  - Pueden emplearse con efectividad los detectores pasivos de infrarrojos, si se instalan y alinean correctamente. En general, una lámpara halógena de 150 W. resulta más que suficiente. Lámparas de 300/500 W. proporcionan demasiada iluminación, mayor deslumbramiento y sombras más oscuras o acentuadas.
  - Son igualmente aceptables iluminaciones permanentes con bajo brillo durante toda la noche. En el caso de un porche en una vivienda, una lámpara fluorescente compacta de 9 W. (600 lm.) resulta adecuada en la mayoría de los casos.
- En el alumbrado de vías de tráfico rodado, se debe reducir el flujo emitido por encima del plano horizontal y restringir la luz cercana.

#### 14.12. Anexo: “Valores orientativos recomendables para la limitación de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior”

La división 5 de la C.I.E., a través de su Comité Técnico TC 5-12, a finales de 1995 elaboró el borrador de informe técnico “Guía sobre la limitación de los efectos de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior”.

Dado el carácter empírico y sujeto a modificaciones consecuencia de la observación que tienen los parámetros que se mencionan en dicha Guía, parece lo más indicado incluir los mencionados parámetros a título de orientación y no de valores exigibles para su aplicación. En este sentido se ha estimado oportuno su incorporación mediante cuadro de limitaciones como Anexo y no como parte de este capítulo, al objeto de que los valores consignados sean cotejados por la propia experiencia de nuestro país.

Pueden considerarse 5 tipos de efectos específicos ocasionados por la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior, que a continuación se concretan:

##### Efectos sobre observaciones astronómicas

Los parámetros luminotécnicos implicados son:

- Iluminación nocturna de la bóveda celeste por dispersión de luz procedente de instalaciones de alumbrado exterior (resplandor luminoso nocturno), en función del flujo hemisférico superior instalado ( $FHS_{inst}$ ) y del flujo reflejado.
- Características espectrales del resplandor luminoso nocturno, es decir, longitudes de onda de las emisiones luminosas (tipos de lámparas).
- Luz directa sobre el propio observatorio astronómico.

##### Efectos sobre los residentes

Los parámetros luminotécnicos a considerar son:

- Iluminancia vertical ( $E_v$ ) en superficies de paramentos, por ejemplo, ventanas de dormitorios.
- Luminancia ( $L$ ) de las luminarias, dado que su visión directa puede provocar molestias. Debido a la dificultad de predeterminar dicha luminancia, se sustituye este parámetro por la intensidad luminosa ( $I$ ) de la fuente de luz en la dirección potencial de la molestia.

**Efectos sobre ciudadanos**

Los parámetros luminotécnicos a tener en cuenta en los efectos sobre ciudadanos en general (transeúntes, turistas, etc.) son:

- Luminancia media ( $L_m$ ) de las superficies de los paramentos verticales en los edificios, que como consecuencia a veces de una iluminación excesiva pueden producir molestias en lugar de realzar aspectos decorativos u ornamentales.

**Efectos sobre usuarios de sistemas de transportes**

Los parámetros luminotécnicos significativos son:

- Incremento umbral de contraste (TI) que expresa la limitación del deslumbramiento perturbador o incapacitivo en el alumbrado de las vías de tráfico rodado, y constituye la medida por la que se cuantifica la pérdida de visión causada por dicho deslumbramiento.
- En casos de sistemas de transporte que operen próximos a instalaciones de alumbrado, como en el caso de transporte marítimo, aviación, etc., las autoridades deberán establecer sus propias reglas.

**Efectos sobre sistemas de señalización de transportes**

Los parámetros luminotécnicos representativos son:

- Deslumbramiento perturbador o incapacitivo representado por el incremento de umbral de contraste (TI), definido como la cantidad de contraste extra, con respecto al contraste original, que hace falta para volver a ver justamente el objeto cuando hay deslumbramiento.
- Caos visual originado por la visión de señales contra fondos brillantes producidos por fuentes luminosas intensas.

En función de la clasificación de zonas establecida en la Tabla 1, las recomendaciones a título meramente orientativo para la limitación de la luz molesta o perturbadora procedente de instalaciones de alumbrado exterior se expresan, como valores máximos, en la tabla siguiente:

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO EN EL CIELO $FHS_{inst}$ %	LUZ EN VENTANAS $E_v$ (lux)		INTENSIDAD DE LA FUENTE		Luminancia en edificios*** $L_m$ (cd/m <sup>2</sup> )	Deslumbramiento Perturbador TI %
		Antes del horario de encendido	Después del horario de encendido	Antes ** del horario reducido	Después del horario reducido		
				Antes del horario reducido			
E 1	0	2	1*	0	0	0	10
E 2	5	5	1	50	0'5	5	10
E 3	15	10	5	100	1'0	10	15
E 4	25	25	10	100	2'5	25	15

Tabla 5. Limitaciones de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior.

$FHS_{inst}$  Máximo porcentaje permitido del flujo hemisférico superior instalado en tanto por ciento.

$E_v$  Iluminancia vertical en lux.

I Intensidad luminosa en Kilocandelas (Kcd).

$L_m$  Luminancia media en cd/m<sup>2</sup>.

TI Incremento de umbral de contraste en tanto por ciento.

\* Aceptable únicamente para instalaciones de alumbrado de vías de tráfico rodado.

\*\* Se aplica para cada fuente de luz en la dirección potencial de la molestia.

\*\*\* Para evitar una iluminación excesiva se limita la luminancia en los edificios, que debe estar acorde con la luminosidad general de la zona.

