

LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA. PROBLEMAS Y SOLUCIONES DE MEJORA

Recibido: 28/04/05

Aceptado: 8/06/05

1- PROBLEMA

1.1- DEFINICIÓN

Entendemos por contaminación lumínica la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones y/o intervalos espectrales donde no es necesario para la realización de las actividades previstas en la zona alumbrada.

El intento de minimizar la contaminación lumínica no se debe confundir con la idea de dejar ciudades y pueblos con una iluminación deficiente. Justo al contrario, las acciones llevadas a cabo para reducir la contaminación lumínica suelen traer consigo una mejora de la calidad de la iluminación ambiental.

1.2- TIPOS DE CONTAMINACIÓN

Luz intrusa: Se trata de la iluminación que por escapar de la zona prevista, incide sobre otras zonas causando allí una iluminación residual no deseada. Un caso particular importante es la entrada de alumbra-do exterior en el interior de las viviendas.

Difusión hacia la atmósfera: Es debida a la difusión de la luz por parte de las moléculas de aire y de polvo en suspensión. Eso produce que parte del haz de luz sea desviado de su dirección original y acabe siendo dispersado en todas direcciones, en particular hacia el cielo. El resultado es un resplandor anómalo del cielo nocturno que se extiende desde las áreas urbanizadas hasta grandes distancias sobre el campo.

Deslumbramiento: Es la luz que incide directamente desde la luminaria hacia el ojo del transeúnte, que por ser de intensidad muy superior a la de las superficies iluminadas del entorno produce un contraste demasiado alto, permitiendo sólo la visión del punto de luz. Es una manifesta-

ción de la contaminación lumínica especialmente peligrosa para el tráfico rodado, siendo causa de un número importante de accidentes.

1.3- EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Efectos sobre la calidad de la iluminación: Uno de los principales objetivos que se pretende conseguir con el control la contaminación lumínica es la mejora de la calidad de la iluminación ambiental. Contrariamente a la idea comúnmente aceptada de que a más luz mejor iluminación, hay que aclarar que la mayoría de las veces no se cumple esta premisa. Un exceso de flujo de luz tiene toda una serie de consecuencias perjudiciales, como la dificultad de adaptación de la vista al salir del área iluminada, el deslumbramiento dentro y fuera del área mencionada, y la formación de cortinas de luz que impiden la percepción del exterior del área desde su interior. Por estos motivos, los niveles de luz deberían adaptarse en cada caso a las características propias de cada población (o de cada zona de dicha población), mediante la regula-

ción horaria y estacional del régimen de funcionamiento, la limitación de la intrusión lumínica, el deslumbramiento y la difusión hacia el firmamento, teniendo siempre en cuenta un diseño correcto de la instalación (evitando emisiones directas por encima de la horizontal, es decir, directas al cielo) y la distribución espectral de las lámparas utilizadas (evitando que éstas emitan fuera del intervalo en el que el ojo humano es sensible a la radiación lumínica).

Efectos sobre la biodiversidad y el Medio Ambiente: La actividad de la flora y la fauna es en general tanto o más intensa durante la noche que durante el día, y la ruptura de la oscuridad nocturna natural sobre grandes territorios tiene efectos perturbadores en muchas conductas biológicas (hábitos alimentarios, reproductivos, de crianza, migratorios...) Incluso el ser humano puede verse afectado por vivir permanentemente en ambientes donde la noche no es nunca bien oscura: además de los efectos negativos sobre situaciones de insomnio o de estrés, puede verse alterada la producción de la hormona melatoni-

Juan Antonio Alduncin Garrido



Ricardo del Pozo Gil de Albornoz



Ricardo Mendiola Egaña



na, encargada de regular muchas funciones del organismo.

Efectos sobre el cielo nocturno:

El resplandor sobre el cielo nocturno provoca una pérdida de contraste en la visión del firmamento, con lo cual dejan de ser observables la mayor parte de los astros y de los fenómenos astronómicos. Esto tiene consecuencias nefastas para la actividad de los observatorios. Pero al margen de eso, también debe considerarse una gran pérdida cultural y paisajística el hecho de que las sociedades desarrolladas tengan en efecto vedada la visión del cielo nocturno y las posibilidades de estudiarlo o simplemente disfrutarlo.

1.4- CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN

Luminarias: La luminaria es el dispositivo que aloja a la lámpara y distribuye direccionalmente la luz generada por ésta. Existen muy diversos tipos de luminaria para alumbrado de exteriores, pero se pueden clasificar básicamente en cuatro tipos: "globo", "farol", "luminaria vial" y "proyector".

Las características técnicas que inciden en el modo como se dirigirá la luz son: la presencia de elementos opacos con reflectante interior donde se aloja la lámpara; el tipo de "cierre" (elemento transparente o traslúcido para la salida de la luz); y, en algunos casos, la inclinación con que se instala (especialmente en proyectores). En todos los casos se puede trazar para cada luminaria un diagrama de flujo luminoso que representa la intensidad de la luz emitida en cada dirección, desde 0° (verticalmente hacia el suelo), hasta 90° (dirección horizontal) y valores superiores a 90° (emisión por encima de la horizontal).

La clave para el control de la contaminación lumínica por lo que respecta a la luminaria, es que la emisión debe ceñirse a ángulos inferiores a 70°, de modo que incida eficazmente sobre el terreno que se pretende iluminar. La luz que se emita a ángulos superiores a 70° se dispersará a lo lejos, no iluminará eficazmente y provocará deslumbramiento; y sobre todo la luz emitida por encima de 90°

será totalmente desaprovechada y causará contaminación lumínica directa (Fig. 1).

Según estos criterios, son luminarias inadecuadas (poco eficaces y causantes de fuerte contaminación): los globos sin hemisferio superior reflectante, los faroles con lámpara vertical a la altura del acristalado, las luminarias viales con cierre abombado y/o no horizontal, y los proyectores inclinados más de 15°.

Lámparas: La lámpara es el elemento que propiamente genera la luz, alimentándose de corriente eléctrica. Para el alumbrado de exteriores se utilizan en ocasiones lámparas de filamento o fluorescentes, pero las de uso habitual son las de descarga en gas. Existen diversos tipos: de vapor de mercurio, de vapor de sodio a alta presión, de vapor de sodio a baja presión, de halogenuros metálicos; y las diferencias entre ellas son importantes, en eficacia (relación entre potencia lumínica y consumo eléctrico), en tipo de luz producida y en precio.

En relación con la contaminación lumínica y con el consumo energético,

co, serán más problemáticas las que tengan una menor eficacia y/o las que emitan una mayor proporción de radiación en zonas del espectro poco útiles visualmente (extremos del espectro visible, ultravioleta, infrarrojo). Así, comparativamente las de vapor de mercurio y halogenuros metálicos son menos apropiadas que las de vapor de sodio a alta presión. Y las más eficaces y menos contaminantes son las de vapor de sodio a baja presión.

Niveles de iluminación: Este es un aspecto cuantitativo de los diseños de alumbrado exterior que resulta de gran importancia, pues en muchos casos, aun recurriendo a los tipos de luminaria y de lámpara más idóneos, se generan problemas de contaminación lumínica y de consumo energético excesivo debido a que se sobrepasan los niveles de iluminación apropiados. Estos niveles se encuentran en tablas donde para cada tipo de zona, en función de su nivel de tráfico o de movimiento peatonal, se indican los niveles de iluminación más adecuados. Deberían considerarse como niveles objetivos a cumplir,

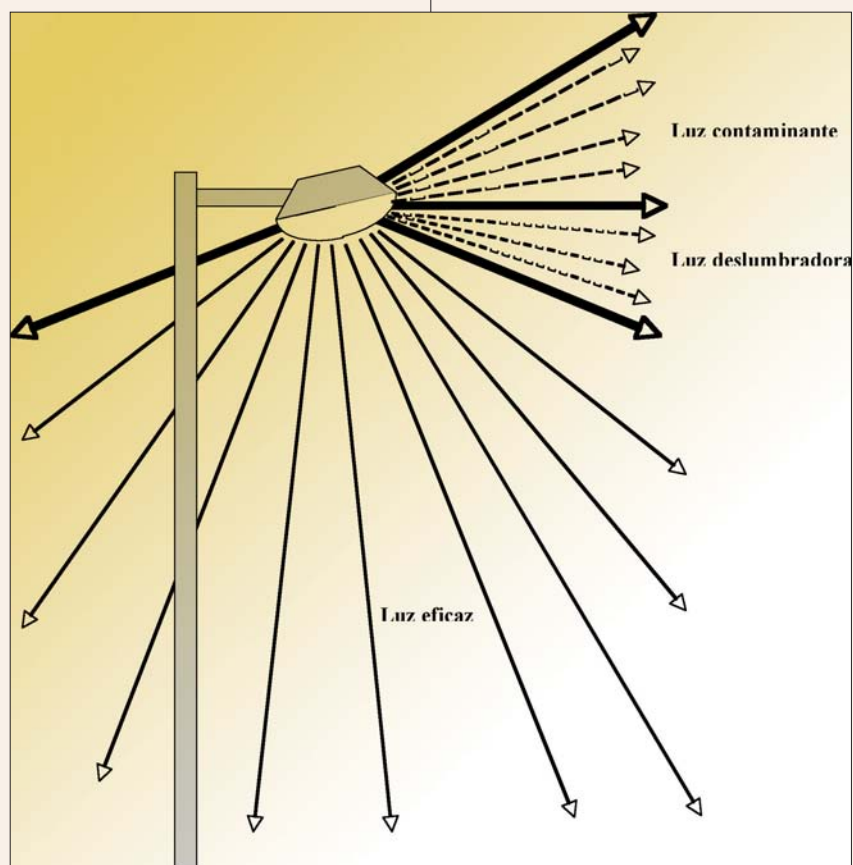


Fig. 1: Distribución de la luz emitida por una luminaria

y no como mínimos a superar sin más limitaciones.

Los niveles se deben adecuar tanto al tipo de zona (centro urbano, calles residenciales, caminos secundarios) como al horario (recomendándose una reducción de flujo lumínico a partir de las 23h. orientativamente)

Y el uso racional del alumbrado debería evitar su instalación, o moderarla al máximo, en espacios donde no es realmente necesario (fachadas de edificios, de pabellones industriales, paneles publicitarios a altas horas de la noche...).

2- CONSUMO ENERGÉTICO EXCESIVO

El problema de la contaminación lumínica está relacionado directamente con el de la eficiencia energética y el del exceso en el consumo de energía por la sencilla razón de que todo el alumbrado artificial se alimenta de electricidad. Y siendo la contaminación lumínica luz emitida por encima de lo necesario o de lo aprovechable, implica en la misma proporción un consumo de energía superior a lo necesario, o un consumo de energía no aprovechado.

2.1- NIVELES DE ILUMINACIÓN SUPERIORES A LOS RECOMENDADOS

Yendo a los detalles del aprovechamiento de la luz, para una luminaria de alumbrado exterior se puede hacer un balance del aprovechamiento obtenido sobre la luz generada.

En primer lugar, la emisión por encima de su horizontal, denominada "flujo al hemisferio superior" (FHS) será totalmente desaprovechada y causará contaminación lumínica por incidir directamente en la atmósfera o en las fachadas.

De la emisión por debajo de su horizontal, o "flujo al hemisferio inferior" (FHI), una parte caerá sobre la zona que se pretende iluminar, y otra parte caerá sobre espacios de los alrededores. Se denomina factor de utilización (K) a la fracción del flujo incidente en la zona que se pretende iluminar. Por tanto representa la fracción realmente aprovechada del flujo total de la lámpara.

Por otra parte, la luz emitida hacia el hemisferio inferior, al llegar al suelo se refleja parcialmente, dependiendo de la reflectancia del pavimento, con lo que parte de esa luz vuelve a dirigirse hacia la atmósfera contribuyendo también a la contaminación lumínica. Esta reflexión es ciertamente inevitable, pero puede mantenerse en valores moderados siempre y cuando el nivel de iluminación instalado no sea mayor de lo debido, y no se extienda a los alrededores de la zona que se pretende iluminar.

Se comprende, por tanto, que todo nivel de iluminación superior al adecuado (sea por dirigirse al hemisferio superior o a áreas fuera de la que se pretendía iluminar, o sea porque se aplican potencias por encima de lo recomendable) implicará un consumo extra no aprovechado de energía eléctrica.

2.2- BAJA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Si en el anterior apartado nos referíamos a la generación excesiva de luz que luego resulta desperdiciada, aquí trataremos de la relación entre la producción de luz y el consumo de energía eléctrica.

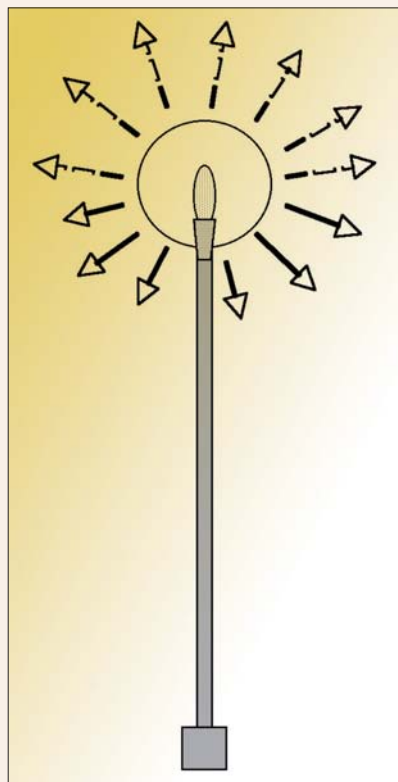


Fig. 2: Globo sin apantallar

Al tratar de las lámparas es importante conocer su rendimiento (es decir, los lúmenes emitidos por cada vatio de energía eléctrica consumida), que varía considerablemente de unos tipos a otros: 50 lumen/watio en las de vapor de mercurio, 70 lumen/watio en las de halogenuros metálicos, 100 lumen/watio en las de vapor de sodio a alta presión, 150 lumen/watio en las de vapor de sodio a baja presión. También influye el tiempo de vida ya que este tipo de lámparas tiene una duración típica de 8000 a 20000 horas de funcionamiento, y su rendimiento disminuye paulatinamente a lo largo de ese tiempo, y más aún si se continúan usando después de rebasada su duración típica.

También las luminarias influyen en la eficiencia energética, pues dependiendo de su diseño y posteriormente de su estado de conservación (ensuciamiento), producirán un cierto bloqueo a la salida de la luz generada en la lámpara. El factor η , o rendimiento de la luminaria, da cuenta de estas características y conviene que sea lo más alto posible para mejorar el aprovechamiento de la energía.

2.3- CONSECUENCIAS MEDIOAMBIENTALES

En el punto 1.3 se han tratado los efectos adversos que sobre el medio ambiente nocturno tiene la contaminación lumínica por acción directa de la luz. Aquí se van a tomar en consideración otros efectos que tiene aparejados, pero en este caso en relación con el consumo excesivo de energía.

Es bien conocido que la electricidad suministrada a la red procede de una variedad de centrales generadoras de distinto tipo, y la contribución de cada una de ellas fluctúa a lo largo del tiempo en función de variables tan dispares como la demanda de energía, el precio de los combustibles, o el nivel de pluviosidad del año en curso. Pero, en promedio, y para nuestro entorno geográfico, puede decirse que la generación de electricidad responde a este reparto:

Centrales térmicas y ciclos combinados (carbón, fuelóleo, gas).....	55%
Centrales nucleares	25%

Centrales hidroeléctricas 15%
Otras fuentes de energías renovables (eólica) 5%

El grueso de la producción se da en centrales térmicas y en centrales nucleares, ambas causantes de problemas serios de contaminación ambiental.

Las centrales nucleares, aun en el supuesto de que se garantice la seguridad frente a accidentes durante su funcionamiento, generan siempre residuos extremadamente tóxicos y de muy problemática eliminación, pues su radiactividad no desaparece en cientos de años. Este es un problema no solucionado y su gravedad aumentará de cara al futuro en la misma medida en que se siga demandando electricidad de este tipo de centrales.

Las centrales térmicas producen electricidad a partir de la energía de combustión de carbón, fuelóleo o gas natural. La quema de estos combustibles fósiles produce energía calorífica y dióxido de carbono que es emitido a la atmósfera. La energía calorífica se transforma en eléctrica en los generadores y es enviada a la red de consumo. La relación entre dióxido de carbono emitido y energía eléctrica producida depende del tipo de combustible quemado (su contenido en carbono e hidrógeno y su calor de combustión) y de la eficiencia de la central térmica: así, la emisión de dióxido de carbono por unidad de energía eléctrica producida es mayor en las centrales térmicas clásicas de carbón y es menor en las modernas centrales de ciclo combinado a gas natural. Pero puede indicarse como valor promedio 689 gramos de CO₂ por kWh producido en central térmica. Asumiendo que el 55% de la electricidad disponible en la red procede de este tipo de centrales tendremos que cada kilovatio-hora consumido produce emisión de 379 gramos de CO₂ a la atmósfera.

El gran problema de la emisión de dióxido de carbono es que este gas produce efecto invernadero y el aumento de su nivel atmosférico es causa de calentamiento global y cambio climático. El *Protocolo de Kioto* es un intento de limitar la emisión

principalmente de este gas. Pero dado el nivel de consumo de energía actual en nuestra sociedad, se hace necesario tomar medidas de ahorro y eficiencia energética en todos los frentes para poder cumplir los objetivos. Una de las medidas necesarias es la moderación en el consumo de electricidad, y aquí es donde el cambio a un uso adecuado y eficiente del alumbrado en exteriores contribuye a reducir el problema ambiental del cambio climático.

Concretando en cifras: el alumbrado de exteriores consume cerca del 4% de la electricidad producida. Este consumo se reduciría en torno a un 40% si se adecuasen los sistemas de iluminación desproporcionados y poco eficientes que existen en la actualidad.

Concretando más: en un estudio de campo realizado sobre el alumbrado público de un municipio medio de Gipuzkoa, de 13.000 habitantes, se llega a la conclusión de que la instalación actual, que consume anualmente 1.016.000 kWh y provoca la emisión de 385 toneladas de CO₂, puede cambiarse por una nueva instalación más eficiente, que consumiría sólo 573.000 kWh y emitiría 217 toneladas de CO₂, es decir, 168 toneladas de CO₂ menos.

2.4- PERJUICIO ECONÓMICO

Todo exceso en consumo de electricidad implica un aumento innecesario en las facturas de energía. Por esto los sistemas de alumbrado desproporcionados y poco eficaces, además de ser causa de contaminación lumínica y ambiental conllevan un dispendio económico injustificado que también se corregirá con la adecuación de las instalaciones.

Cuando se trata de modificar la iluminación de una amplia área, o de todo un municipio, el costo inicial de las nuevas luminarias y lámparas suele verse como un serio obstáculo, y causa demoras e incluso renuncias a acometer los cambios. Sin embargo, cuando se tiene en cuenta el importante ahorro en consumo de energía que aporta la nueva instalación, resultan tiempos de amortización cortos, de en torno a cinco años, se-

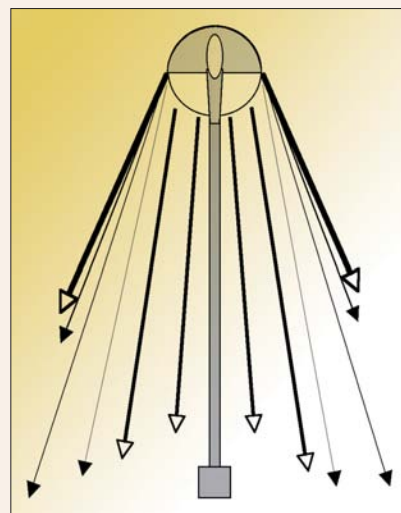


Fig. 3: Globo con hemisferio superior reflectante, lámpara alojada en hemisferio superior, hemisferio inferior transparente

gún experiencias ya realizadas en algunas localidades.

3- SOLUCIONES TÉCNICAS PARA RACIONALIZAR EL CONSUMO DE ENERGÍA

3.1- SELECCIÓN DE LUMINARIAS

Las luminarias deberán estar construidas tal que su factor de utilización (K) y rendimiento (L) sean máximos, lo que significa un óptimo provecho de la luz generada. Esto se consigue con elementos reflectantes que focalicen el haz luminoso hacia el pavimento donde se precisa y con elementos de cierre que transmitan adecuadamente la luz (transparentes) y sean resistentes al ensuciamiento. Respecto a la distribución de la luz es importante que el flujo al hemisferio superior (FHS) sea lo más bajo posible, preferiblemente nulo.

Esto se logra concretamente en estos tipos de luminaria (Figs. 2 a 9):

Globos con hemisferio superior reflectante, lámpara alojada en la zona superior y hemisferio inferior transparente.

Faroles con lámpara alojada en la parte superior reflectante y con cierres laterales de vidrio transparente.

Luminarias viales con lámpara alojada en grupo reflectante, dirigido hacia el suelo y con cierre de vidrio plano.

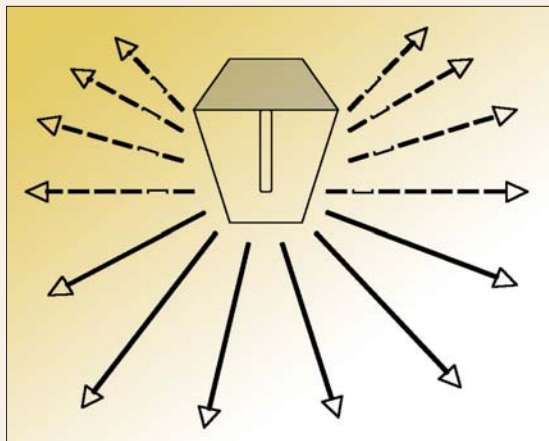


Fig. 4: Farol con lámpara vertical a la altura del acristalado

seguridad en espacios grandes como aparcamientos, carreteras, muelles de carga, naves industriales, pero no para iluminar calles transitadas dentro de la ciudad.

Las de **vapor de sodio a alta presión** consiguen un rendimiento alto

combinado con un índice de reproducción cromática medio y una temperatura de color correspondiente a luz cálida. Se recomiendan para iluminación general de zonas urbanas, y son las más indicadas en la mayoría de los casos.

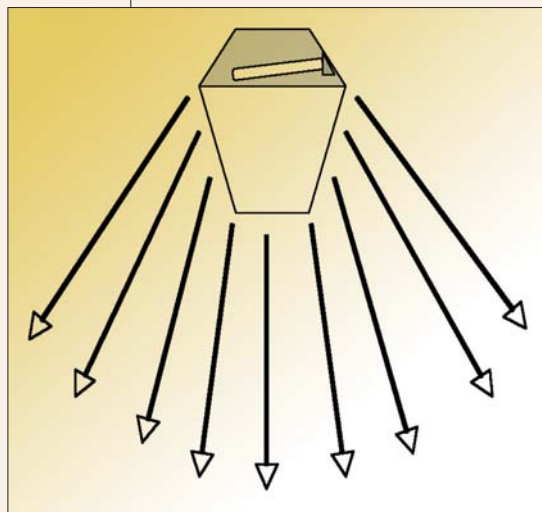
Las de **halogenuros metálicos** ofrecen un rendimiento medio y un índice de reproducción cromática alto. Desde el punto de vista económico y medioambiental son menos adecuadas que las de vapor de sodio, pero se emplean ocasionalmente para zonas en que se prefiere un tipo de luz de calidad especial.

Las de **vapor de mercurio** tienen un rendimiento medio-bajo, un índice de reproducción cromática medio-alto y una temperatura de color correspondiente a luz fría. Aunque son las más baratas entre las lámparas de descarga en gas, y en un tiempo fueron las más generalizadas, su bajo rendimiento aconseja sustituirlas por las de vapor de sodio.

3.3- PLANIFICACIÓN ZONAL Y HORARIA DEL ALUMBRADO

Un buen diseño de alumbrado no se limita a la selección de las luminarias y lámparas más adecuadas, sino que contemplará también su distribución sobre el terreno

Fig. 5: Farol con lámpara alojada en parte superior reflectante, y con cierres laterales de vidrio transparente.



y los consecuentes valores de iluminancia y uniformidad conseguidos.

La **iluminancia** mide el flujo luminoso incidente por unidad de superficie, en unidades lux (lumen/m²); en ciertos casos se considera también la **luminancia** (en candela/m²) que es una medida del brillo aparente de la superficie observada, y depende de la luz incidente, de las propiedades reflectantes de la superficie en cuestión y de la dirección desde la que se observa.

La **uniformidad** se expresa (en %) como razón entre la iluminancia mínima (en el punto menos iluminado de la superficie) y la iluminancia media sobre dicha superficie; nos da idea de la igualdad o desigualdad de la iluminación a lo largo del terreno.

Existen tablas que indican los niveles de iluminación adecuados para diversos tipos de vías urbanas, en función de su carácter de calles principales o secundarias, más o menos transitadas, con mayor o menor tráfico rodado... Los valores recomendados son:

Es importante tomar estos valores como objetivos a cumplir, y no como mínimos que se puedan superar libremente. El aumento de la iluminancia media implicaría aumentar la potencia total de lámparas instalada (suponiendo el mismo tipo de lámpara). El aumento de la uniformidad implicaría extender la instalación, bien aumentando el número de puntos de luz o bien aumentando su altura sobre el suelo. Por todo ello, rebasar arbitrariamente los valores de iluminan-

Proyectores simétricos o asimétricos con el cierre en horizontal, dirigido hacia el suelo, o inclinado un máximo de 15°.

Dada la gran variedad de luminarias ofertadas por los proveedores, puede resultar útil (con vistas a elegir las de diseño más correcto en cuanto al uso eficiente de la luz y a la eliminación de la contaminación lumínica) seleccionar los modelos homologados por el I.A.C. (*Instituto de Astrofísica de Canarias*).

3.2- USO DE LÁMPARAS ADECUADAS

Ya se han avanzado en los puntos 1.4 y 2.2 las principales características diferenciadoras de los tipos de lámpara. Naturalmente, interesará emplear las de mejores rendimientos, pero es preciso tener en cuenta también otras características: el **índice de reproducción cromática** determina la visión diferenciada de los colores bajo ese tipo de luz (y se relaciona con la riqueza espectral de la radiación visible generada en la lámpara). La **temperatura de color** marca el aspecto frío o cálido de la luz (y depende de la dominante cromática en la distribución espectral).

Las lámparas de **vapor de sodio a baja presión** son las de rendimiento máximo, por tanto las que menos consumen para lograr un nivel de luz dado. Además permiten una fácil percepción de contrastes y alta agudeza visual. Sin embargo su índice de reproducción cromática es nulo, esto es, no se reconocen los diferentes colores en una escena iluminada con este tipo de lámpara. Por ello se recomienda su uso para alumbrado de

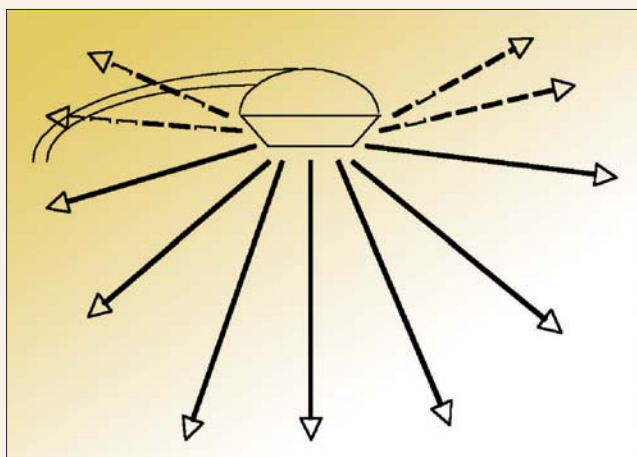


Fig. 6: Luminaria vial con cierre abombado

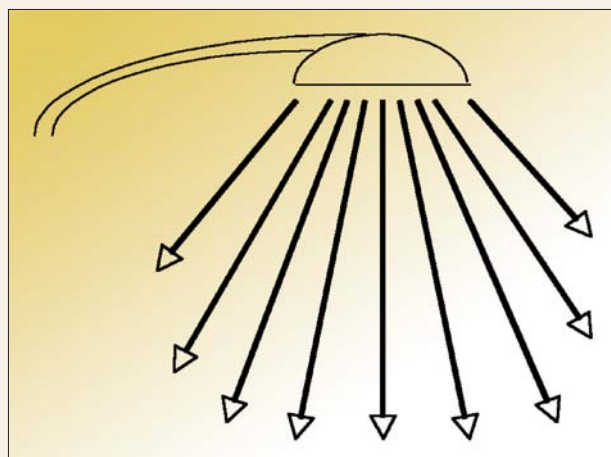


Fig. 7: Luminaria vial con cierre de vidrio plano

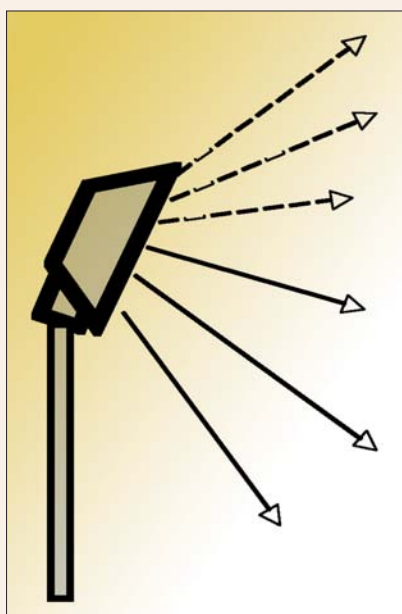


Fig. 8: Proyector simétrico inclinado más de 15°

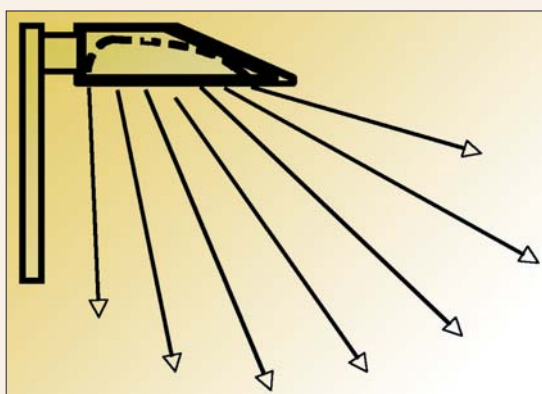
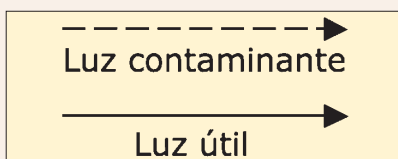


Fig. 9: Proyector asimétrico con cierre horizontal o inclinado menos de 15°



de la noche el tránsito peatonal y el tráfico rodado son muy superiores al que se da en horas avanzadas. Por tanto es prudente disminuir la potencia del alumbrado a partir de las 23 h, utilizando reductores de flujo que conseguirán un sensible ahorro energético a partir de esa hora.

Todas estas consideraciones se refieren al alumbrado ordinario del pavimento. En cuanto al alumbrado de tipo ornamental o publicitario (iluminación exterior de edificios, monumentos, fachadas de empresas o centros comerciales, carteles publi-

tarios) se deberían aplicar normas precisas para un uso racional:

- Dirigir siempre la luz desde arriba hacia abajo
- Utilizar proyectores con lamas, paralumes o rejillas que intercepten todo haz luminoso dirigido fuera de la superficie que se desea iluminar
- Ajustar las potencias a los niveles más bajos posibles
- Apagar este tipo de alumbrado a partir de las 24 h.

REFERENCIAS

- International Dark-Sky Association <http://www.darksky.org/>
- Modelo de Ordenanza Municipal de Alumbrado Exterior para la Protección del Medio Ambiente mediante la mejora de la Eficiencia Energética <http://www.idae.es/>
- Comité Español de Iluminación <http://www.ceisp.com/>
- Colectivo "Cel Fosc" <http://www.celfosc.org/>
- Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo. Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) <http://www.iac.es/>
- Ponencias del Symposium Internacional sobre Contaminación Lumínica (Barcelona, 2004). ■

cia y de uniformidad recomendados supone encarecer la instalación y su mantenimiento, aumentar el consumo de energía, aumentar los efectos contaminantes, y, sin embargo, no aporta una mejora real de la visibilidad ni de la calidad ambiental del alumbrado.

Otro importante aspecto a tener en cuenta es el diferente uso de la vía pública a distintas horas: al comienzo

	Iluminancia media (lux)	Uniformidad (%)
Caminos, jardines	5	20
Zonas residenciales	7,5 - 10	20
Calles urbanas típicas	10 - 15	30
Arterias comerciales	20 - 25	38