

AAC Acústica + Lumínica

DISEÑOS DE ALUMBRADO EXTERIOR CON CRITERIOS SOSTENIBLES

Ponencia presentada en el XXXVII Simposium Nacional
de Alumbrado
Santander Del 4 al 7 de Mayo de 2.001

Autores:

Susana Malón Giménez
Alberto Bañuelos Irusta

1. INTRODUCCIÓN

Son conocidos los efectos que la iluminación artificial diseñada sin criterios adecuados puede generar, pero aún así, se tiende a pensar que es un problema local, cuando realmente no es así.

Hablar de lo que hemos denominado ***criterios sostenibles o inteligentes***, y que presentamos en esta ponencia, es hablar de tener en cuenta en los diseños de alumbrado exterior todos los aspectos que conllevan a producir el resplandor luminoso, pero no sólo en el propio punto de luz o ciudad como foco de emisión lumínica, sino también en la propagación de la luz en el exterior y en el punto de imisión, es decir, el lugar hasta donde puede llegar a influir.

Proteger lo que en la mayoría de las reglamentaciones se denomina punto de referencia, o una zona de especial protección natural, un observatorio astronómico, etc., no pasa por limitar la iluminación dentro ellos y utilizar luminarias y lámparas “no contaminantes”. Es aplicar estos criterios pero más exigentes en instalaciones que distan decenas de kilómetros como vamos a ver, o lo que es lo mismo, definir buffers de protección.

La forma en la que la luz se propaga en la atmósfera, es compleja, pero gracias a ésta podemos ver lo que vemos y como lo vemos, podemos contemplar los espectáculos que La Tierra nos brinda cada día,



nuestro patrimonio cultural, monumentos en nuestras ciudades y en nuestros cielos,



Shingo Takei

pero también observar los mantos luminosos artificiales en la noche desde lo lejos.



Vamos a presentar los criterios de diseño que se han seguido para la ejecución de las obras de renovación del alumbrado en distintas zonas de varios municipios, considerando todos los aspectos que están relacionados con los efectos nocivos que un exceso de luz artificial puede generar no sólo a nivel local, sino también en el entorno.

2. ASPECTOS A TENER EN CUENTA

En las auditorías energéticas del alumbrado público, en la redacción de los planes directores y de acción o en los proyectos de renovación o nuevo diseño, se consideran aspectos que en la mayoría de los casos son el objetivo principal de por qué se llevan a cabo: reducir el consumo energético, por supuesto sin reducir la seguridad del ciudadano.

En este aspecto fundamental, entra en juego, el ajuste de los niveles de iluminación a lo indicado en el RD1890/2008 según la zona, a diseñar instalaciones con la máxima eficiencia energética, la mejor tipología de lámparas, luminarias y equipos auxiliares, implantación de sistemas de regulación de flujo, a definir el plan de mantenimiento preventivo más optimizado posible y también correctivo con labores diarias, etc.

La problemática general de nuestros pueblos y ciudades obviamente es el exceso de consumo eléctrico en el alumbrado público, debido al sobredimensionamiento en muchos casos de las instalaciones y a la escasa eficiencia que tienen muchas de ellas, especialmente las más antiguas.

Pero se debería ir un paso adelante. Dentro de la estrategia municipal para la mejora de la calidad del alumbrado y reducción de su coste, en las tomas de decisiones se deberían considerar otros aspectos, como el lugar geográfico en el que se encuentra ubicado el municipio, qué tiene alrededor, si está próximo a una zona protegida, a un punto de referencia, etc. porque la problemática de la contaminación lumínica no es algo local y propio de cada uno, sino un problema global.

O visto desde otra perspectiva, ¿qué sucede con las zonas de especial protección?, los denominados puntos de referencia, figuras como RED NATURA2000, LIC, ZEPAS, Observatorios astronómicos, Reservas y Destinos StarLight, etc. ¿Es suficiente con controlar estos parámetros dentro de ellas?. La respuesta obviamente es NO.

Las acciones a desarrollar en una zona de especial sensibilidad para su protección frente a la contaminación lumínica, no deben estar orientadas únicamente a su propia emisión, que por supuesto debe existir, sino también orientadas a la inmisión, lo que puede suponer una limitación en el alumbrado de las zonas exteriores que puedan afectarle.

En este sentido deben considerarse también los aspectos que influyen en la propagación de la luz en el exterior, desde el foco al receptor. La atmósfera es el medio transmisor, complejo y necesario para la vida.

Cuando la luz atraviesa la atmósfera, interacciona tanto con las moléculas gaseosas que constituyen el aire "limpio", como con las partículas grandes en suspensión, de naturaleza sólida o líquida, y que reciben la denominación genérica de "aerosoles". El fenómeno de extinción en las moléculas del aire, conocido con el nombre de *Esparcimiento de Rayleigh* (el mismo que explica por qué el cielo es azul en las horas centrales del día y se tiñe de un tono anaranjado en el ocaso y amanecer por atravesar una capa de atmósfera más gruesa) es más intenso en las longitudes de onda cortas (azul y violeta del visible y ultravioleta-UV) que en las de onda más larga (amarillo, naranja).

En concreto, la intensidad del fenómeno es inversamente proporcional a la 4ª potencia de la longitud de onda ($\alpha \lambda^{-4}$), por lo que es fácil comprobar que las longitudes de onda del azul sufren este efecto con cuatro veces más de intensidad que la parte roja del espectro, y la UV trece veces más. Este es un aspecto sostenible a tener en cuenta.

Otro efecto de la atmósfera terrestre que se produce en la zona próxima al horizonte, es la interacción de la luz con los aerosoles (partículas de polvo fino, gotas de agua y contaminación atmosférica) y que sigue la ley del *Esparcimiento de Mie*. Tiene una dependencia semejante que Rayleigh (mayor para longitudes de onda cortas) aunque con un contraste menos fuerte entre las partes roja y violeta del espectro, ya que la extinción depende muy poco de la longitud de onda ($\alpha \lambda^{-1}$).

Sin embargo, el esparcimiento de Mie depende de las características concretas de las partículas de aerosoles y es, además, muy direccional: se produce de manera predominante en direcciones cercanas a la de incidencia de la luz.

El mecanismo de Rayleigh predomina en emisiones de luz en direcciones alejadas de la horizontal y, también, en direcciones cercanas a la horizontal en atmósferas muy

limpias (libres de aerosoles). En presencia de aerosoles, que se suelen acumular en las capas bajas de la atmósfera, el esparcimiento de Mie suele predominar en la propagación de la luz para haces dirigidos cerca de la horizontal y en la dirección de avance, con una desviación pequeña de su posición original.

Esto es lo que causa que la luz en los ángulos próximos a la horizontal en las luminarias sin apantallar, se propague enormes distancias, y por lo que se comprueba que la contaminación lumínica no es un fenómeno local, sino que sus efectos negativos afectan a grandes áreas.

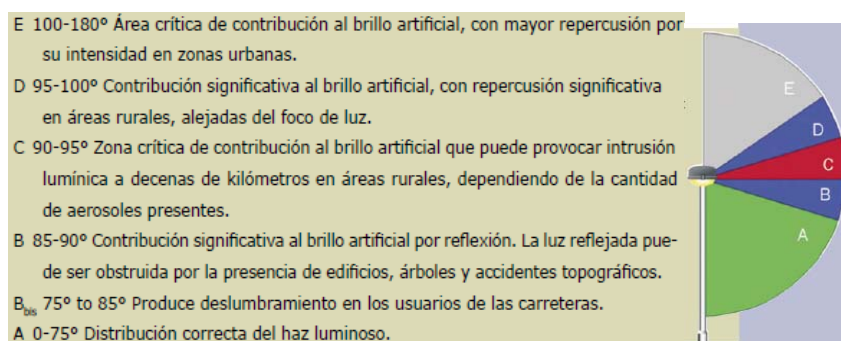
A estas consideraciones se añade el hecho de que el recorrido medio de la luz en la atmósfera es mucho mayor para emisiones cercanas a la horizontal, incluyendo en ellas tanto las emisiones directas de las luminarias como las reflexiones en los edificios, y este mayor recorrido acentúa los efectos de esparcimiento por cualquiera de los mecanismos físicos descritos anteriormente.

Según análisis cuantitativos, la luz emitida en ángulos entre 60° y 90° (de 0° a 30° sobre el plano horizontal) es mucho más problemática para los cielos próximos al punto de referencia, por ejemplo observatorios astronómicos o zonas naturales protegidas, que la luz emitida directamente hacia el zenit, aunque en promedio la mayor parte de la luz próxima a la horizontal se dirige lejos del punto de referencia.

Y además, el aumento de brillo del cielo de la luz próxima a la horizontal, entre 10° y 20° , es de 6 a 160 veces más intenso que la de un flujo luminoso similar dirigido hacia abajo y reflejado en el suelo hacia la atmósfera.

Debido a que la mayor parte de la luz emitida en ángulos superiores a la horizontal de las luminarias parcialmente apantalladas, es dirigida justo por encima del plano horizontal, hace que este tipo de luminarias tengan un efecto desproporcionado sobre el resplandor luminoso.

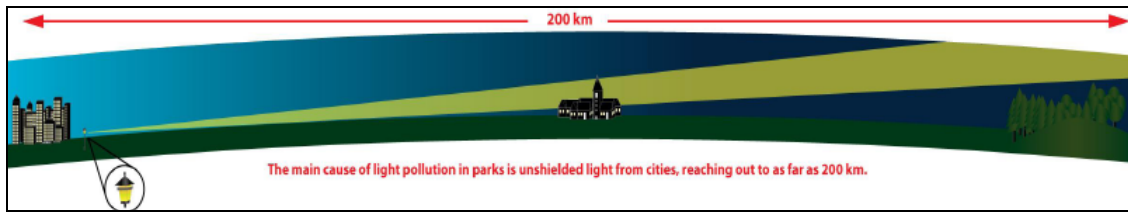
En la imagen que sigue se muestra el impacto de una luminaria en los ángulos de propagación de la luz y su contribución relativa sobre el resplandor luminoso o el aumento del brillo artificial de la noche (dispersión de la luz hacia el cielo):



Efecto sobre el brillo artificial del cielo según el ángulo de emisión. Fuente StarLight

Como se observa, la parte de $90-95^\circ$ es la zona más crítica en cuanto al resplandor luminoso nocturno e intrusión a decenas de Kilómetros de la fuente, en zonas rurales,

y que es debido fundamentalmente al efecto de los aerosoles, como se ha comentado anteriormente.



En el *US Naval Observatory Flagstaff Station (Arizona)* se ha llevado a cabo un estudio para cuantificar la relación entre los ángulos de emisión de las luminarias y el resplandor luminoso, a partir de la modelización de nueve fuentes de luz diferentes emitiendo desde 0 hasta 90° en rangos de 10° desde el zenit (*Lighting and Astronomy. Physics Today Magazine December 2009*).

En concreto, luminarias con FHSinst 3% producen entre un 80% y un 290% más de resplandor luminoso que luminarias con FHSinst 0%, y en un núcleo urbano con un 10% de FHSinst, la emisión directa produce las 3/4 partes del resplandor a 50 Km y más de las 9/10 partes del resplandor a 200 Km. Incluso aunque la cantidad de luz directa (10%) sea similar a la cantidad de luz reflejada por el suelo ($90\% \times 0,15 = 13,5\%$), la emisión directa hacia arriba produce la mayor parte del brillo artificial del cielo. Este es otro aspecto sostenible a tener en cuenta.

Por tanto, deben considerarse estos criterios sostenibles que implican limitaciones más exigentes en cuanto a la tipología de lámparas y luminarias a aplicar en la zona emisora, y por tanto condiciona su alumbrado, para no afectar y respetar a las zonas externas especialmente en el caso que estén declaradas como zonas de especial sensibilidad.

3. CRITERIOS SOSTENIBLES APLICADOS

Todo lo anterior se resume en los siguientes condicionantes o criterios sostenibles, que ya se han aplicado en la renovación del alumbrado en diferentes municipios, ubicados en zonas dentro o próximas a espacios protegidos:

- Fijar los niveles de iluminación máximos admisibles (ITC-EA-02 RD1890)

Tipo de vía		Parámetros lumínicos			
Moderada velocidad 30 < V ≤ 60 Km/h Clases: B1 / B2	<ul style="list-style-type: none"> • Travesías • Polígonos industriales 	L _m (cd/m ²)	0,75	E _m (lux)	10,0
		U _o	0,40	E _{mín} (lux)	3,0
		U _l	0,50	U _m	0,3
Baja velocidad 5 < V ≤ 30 Km/h Clases: CE / S	<ul style="list-style-type: none"> • Calles con aceras para peatones 	E _m (lux)	5 - 7,5		
		E _{mín} (lux)	1,5 - 1		
Peatonales/carril bici Clases: CE / S	<ul style="list-style-type: none"> • Espacios peatonales, aceras 	U _m	0,2		

- Instalaciones con etiqueta energética A (en algunos casos de renovaciones de situaciones existentes se puede admitir la etiqueta B cuando la inversión necesaria para conseguir una etiqueta A no se justifique).
- Luminarias con 0 % de flujo hemisférico superior instalado, que se logrará con luminarias de vidrio plano o cut-off y colocadas sin ninguna inclinación.
- Luminarias con rendimiento superior al 70%.
- Lámparas de vapor de sodio de alta presión y con equipo auxiliar de pérdidas mínimas (equipos electrónicos).
- Limitar el uso de lámparas con emisión significativa para longitudes de onda menores que 500 nm.
- Implantar sistemas de regulación de flujo luminoso, que entren en funcionamiento a partir de las 23h.

4. RESULTADOS

Se presentan las actuaciones llevadas a cabo en varias zonas de dos municipios en los que se han aplicado estos criterios y con resultados que generan una reducción del consumo eléctrico importante y la minimización de la contaminación lumínica en el entorno. Los resultados que se presentan, tanto de la situación anterior como la que existe en la actualidad tras la renovación, incluyen:

- Niveles de iluminación y Uniformidad.
- Tipología puntos de luz
- Sistemas de regulación
- Etiqueta Energética
- Ahorro conseguido
- Reportaje fotográfico

La situación que existía antes de las renovaciones se presenta en estas fotografías:



Vista del municipio a una distancia de casi 1 Km. Luminarias con alto deslumbramiento (tipo farol sin bloque óptico) en la totalidad del municipio



Zona antes de la renovación, dentro de la primera fase del Plan de Acción

Este otro municipio fue declarado recientemente por la Inicitiva StarLight, apoyada por la UNESCO, como el primer municipio español *Star-Park*. En este caso, las actuaciones responden a criterios más exigentes desde un punto de vista de la contaminación lumínica, pero en todo momento respetando la calidad del alumbrado.



Cielo nocturno en el zénit en una de las zonas del municipio, se aprecia la contaminación procedente de núcleos bastante alejados



Núcleo urbano principal del municipio, donde se han ejecutado las obras de renovación del alumbrado de la Fase 1 dentro del Plan de Acción.



Calle antes de ser renovada, sin apantallar por edificios, lo que genera mayor propagación directa hacia el exterior



Calle renovada, luminarias $FHS_{inst} = 0\%$



Calle antes de ser renovada



Calle renovada, luminarias $FHS_{inst} = 0\%$



Calle antes de ser renovada



Calle renovada, luminarias $FHS_{inst} = 0\%$

A continuación se presentan los resultados de las actuaciones ejecutadas en las que se muestra la comparación entre la situación anterior y posterior a la renovación:

La renovación en este municipio, ha consistido en sustituir el 10% de los puntos de luz tipol con farol sin protección con SAP 150w, por otros tantos con modelo farol pero con sistema de protección y bloque óptico y lámparas SAP 70w, además de la implantación de un sistema de regulación en cabecera de línea y la renovación completa del centro de mando.


Situación ANTERIOR				Situación POSTERIOR				
								
Luminaria		Farol <u>sin</u> bloque óptico; FHS _{inst} = 35%		Luminaria		Farol <u>CON</u> bloque óptico; FHS _{inst} = 0%		
Tipo/potencia de Lámpara		SAP 150W		Tipo/potencia de Lámpara		SAP 70W com REG-ESTAB cabecera		
Nivel de Iluminación E _m (lux)		9,3	Uniformidad Um	0,4	Nivel de Iluminación E _m (lux) Nominal / reducido		12,9 / 5,0	
Etiqueta Eficiencia energética (mayor a menor eficiencia)				Etiqueta Eficiencia energética (mayor a menor eficiencia)				
Consumo anual		kWh	42.972		Consumo anual		kWh	16.511
		€	3.861,1				€	1.486,0
Ahorro anual		%		61,6				

Esta acción ha supuesto un ahorro de aproximadamente 2.400 €/año, aunque sólo se ha actuado sobre el 10% de los puntos de luz. En breve se iniciará la segunda fase en la que se actuará sobre otro 30%.

La renovación en este otro municipio dentro de la primera fase se ha centrado en el núcleo urbano más importante y ha consistido en sustituir el 17% de los puntos de luz con menor eficiencia, incluidos los más antiguos, por otros con mayor rendimiento y protección, con lámparas SAP de 50, 70 y 100w, según las zonas, además de la renovación completa de 5 centros de mando y la implantación de un regulador-estabilizador en cabecera de línea y la regulación en punto con sistemas Dynadimmer en una de las calles.

Situación ANTERIOR				Situación POSTERIOR					
									
Luminaria		Vial vidrio CURVO y FHS _{inst} = 4%		Luminaria		Vial vidrio PLANO y FHS _{inst} = 0%			
Tipo/potencia de Lámpara		SAP 150w		Tipo/potencia de Lámpara		SAP 100w con REG-ESTAB cabecera			
Nivel de Iluminación E _m (lux)		11,7	Uniformidad Um	0,2	Nivel de Iluminación E _m (lux)		15,0	Uniformidad Um	0,6
Etiqueta Eficiencia energética (mayor a menor eficiencia)				Etiqueta Eficiencia energética (mayor a menor eficiencia)		A			
Consumo anual		kWh	23.256		Consumo anual	kWh	8.738		
		€	2.558,2			€	961,2		
Ahorro anual		%		62,4					

Situación ANTERIOR				Situación POSTERIOR					
									
Luminaria		Vial (sin cierre) y FHS _{inst} = 4%		Luminaria		Ambiental vidrio PLANO y FHS _{inst} = 0%			
Tipo/potencia de Lámpara		VM 125w		Tipo/potencia de Lámpara		SAP 70w con BALASTO ELECTRÓNICO regulable			
Nivel de Iluminación E _m (lux)		4,8	Uniformidad Um	0,2	Nivel de Iluminación E _m (lux)		11,8	Uniformidad Um	0,4
Etiqueta Eficiencia energética (mayor a menor eficiencia)				Etiqueta Eficiencia energética (mayor a menor eficiencia)		A			
Consumo anual		kWh	2.780		Consumo anual	kWh	1079		
		€	305,8			€	118,7		
Ahorro anual		%		61,2					

Situación ANTERIOR				Situación POSTERIOR			
							
							
Luminaria	Vial (sin cierre) y FHS _{inst} = 4%			Luminaria	Ambiental vidrio PLANO y FHS _{inst} = 0%		
Tipo/potencia de Lámpara	VM 125w			Tipo/potencia de Lámpara	SAP 50w		
Nivel de Iluminación E _m (lux)	5,9	Uniformidad Um	0,3	Nivel de Iluminación E _m (lux)	5,2	Uniformidad Um	0,3
Etiqueta Eficiencia energética (mayor a menor eficiencia)				Etiqueta Eficiencia energética (mayor a menor eficiencia)	A		
Consumo anual	kWh	3.336		Consumo anual	kWh	1.488	
	€	366,9			€	163,7	
				Ahorro anual	%	55,4	

Situación ANTERIOR				Situación POSTERIOR			
							
							
Luminaria	Globo sin sistema óptico; FHS _{inst} = 50%			Luminaria	Ambiental vidrio PLANO y FHS _{inst} = 0%		
Tipo/potencia de Lámpara	SAP 150w			Tipo/potencia de Lámpara	SAP 50w		
Nivel de Iluminación E _m (lux)	4,0	Uniformidad Um	0,1	Nivel de Iluminación E _m (lux)	7,1	Uniformidad Um	0,25
Etiqueta Eficiencia energética (mayor a menor eficiencia)				Etiqueta Eficiencia energética (mayor a menor eficiencia)	A		
Consumo anual	kWh	10.944		Consumo anual	kWh	3.968	
	€	1.203,8			€	436,5	
				Ahorro anual	%	63,7	

Situación ANTERIOR				Situación POSTERIOR			
							
Luminaria	Globo sin sistema óptico; FHS _{inst} = 50%			Luminaria	Ambiental vidrio PLANO y FHS _{inst} = 0%		
Tipo/potencia de Lámpara	SAP 150w			Tipo/potencia de Lámpara	SAP 50w		
Nivel de Iluminación E _m (lux)	3,7	Uniformidad Um	0,2	Nivel de Iluminación E _m (lux)	7,1	Uniformidad Um	0,25
Etiqueta Eficiencia energética (mayor a menor eficiencia)				Etiqueta Eficiencia energética (mayor a menor eficiencia)	A		
Consumo anual	kWh	15.732		Consumo anual	kWh	6.200	
	€	1.730,5			€	682,0	
				Ahorro anual	%	60,6	

Estas acciones han supuesto un ahorro de aproximadamente 5.300 €/año, que respresenta un 65,6% del gasto de la instalación, aunque sólo se ha actuado sobre el 17% de los puntos de luz.

En las acciones que se vayan a ejecutar en un futuro próximo en el municipio se seguirá este mismo patrón cumpliendo las pautas descritas en el PLAN DIRECTOR, especialmente en las zonas rurales próximas al núcleo de la RED NATURA, donde las nuevas instalaciones se deben adecuar a la protección de la biodiversidad, respetando las necesidades de los ciudadanos.

5. CONCLUSIONES

Los criterios sostenibles e inteligentes, que se han adoptado en estas renovaciones, y que pueden aplicarse a situaciones similares, que son muchas, e incluso generalizarse en otros casos, son más restrictivos en algunos aspectos al RD1890, pero que son habituales en otras reglamentaciones a nivel internacional (Slovenia, Italia, etc.).

Especialmente en cuanto a las características de los puntos de luz ($FHS_{inst} = 0\%$, rendimiento), al tipo de lámpara a utilizar, SAP principalmente y evitando el uso de lámparas con emisiones por debajo de los 500 nm. Estos criterios reducen la contaminación lumínica y pueden evitar en gran medida su futura generación debido a nuevas zonas a iluminar.

Pero su máxima es mayor. Permiten generar un gran ahorro energético, es evidente con los resultados que se han presentado. Un ahorro anual del 62% y 65% respectivamente y respetando las condiciones nocturnas de las zonas más próximas, por lo que la biodiversidad y el patrimonio que es nuestro cielo estrellado se ven protegidos ahorrando energía y manteniendo las condiciones de iluminación necesarias para el desarrollo de nuestras actividades.

Eso es desarrollo sostenible.