

# Influencia de los cambios espectrales en luminarias LED en el cumplimiento de las directivas de protección del cielo



## INTRODUCCIÓN:

Sabemos que algunos LEDs presentan un cambio cromático angular, que puede verse potenciado o mitigado por el uso de lentes.

Estos cambios se deben a un cambio en la distribución espectral de los LEDs en función del ángulo de visión, siendo más acentuados cuanto mayor es la temperatura de color de la fuente.

Este efecto no es algo aislado y tanto es así que algunos programas de diseño óptico han comenzado a incorporar los archivos espectrales de los LEDs incluyendo la distribución espectral direccional del LED.

*Veamos algunos ejemplos*

## EJEMPLOS DE DIFERENTES LEDs:

LED 0: 2700K

PLANO C0			
gamma (º)	x	y	Tc (K)
0	0.4962	0.4441	2500
10	0.4946	0.4407	2494
20	0.4917	0.4390	2516
30	0.4893	0.4337	2499
40	0.4870	0.4322	2515
50	0.4849	0.4299	2524
60	0.4838	0.4290	2531
70	0.4863	0.4310	2515
80	0.4922	0.4375	2500
90	0.4999	0.4467	2476

PLANO C90			
gamma (º)	x	y	Tc (K)
0	0.4962	0.4441	2500
10	0.4932	0.4426	2526
20	0.4914	0.4382	2513
30	0.4893	0.4352	2509
40	0.4865	0.4324	2522
50	0.4845	0.4295	2526
60	0.4842	0.4282	2521
70	0.4851	0.4310	2530
80	0.4912	0.4370	2507
90	0.5009	0.4461	2460

Temperatura de color global calculada por el SW: 2498 K

$\Delta u'v'$  max (considerando todas direcciones) = 0.007

$\Delta u'v'$  max (considerando hasta ángulo de apertura) = 0.005

Total luminous flux: 2 958.67  
 Total radiant flux: 10.4465  
 Radiant efficacy: 283.221  
 Total Photon Flux: 5.09581  
 Photon Efficacy: 0.0160685  
 Total PAR Flux: 4.55093  
 PAR Efficacy: 1.57522e-306  
 PAR / Lumens: 5.81679e-284  
**CCT: 2 498.16(K)**  
 x , y : (0.487333, 0.432651)  
 u , v : (0.270097, 0.359686)  
 u' , v' : (0.270097, 0.539529)

ANGULAR COLOR UNIFORMITY:

Delta u'v' over beam angle:

Max : 0.00525619 (0v, 0h)  
 Min : 0.000107295 (40v, 285h)  
 Avg : 0.00252425 (0.270106u', 0.539528v')

Delta u'v' over field angle:

Max : 0.00705074 (90v, 90h)  
 Min : 0.000118009 (40v, 285h)  
 Avg : 0.00256306 (0.270098u', 0.539536v')

## EJEMPLOS DE DIFERENTES LEDs:

### LED 1: 2800K

PLANO C0			
gamma (º)	x	y	Tc (K)
0	0.4418	0.3990	2861
10	0.4444	0.4017	2842
20	0.4457	0.4040	2839
30	0.4490	0.4063	2830
40	0.4521	0.4101	2801
50	0.4549	0.4131	2778
60	0.4559	0.4145	2773
70	0.4570	0.4149	2759
80	0.4558	0.4149	2777
90	0.4576	0.4158	2753

PLANO C90			
gamma (º)	x	y	Tc (K)
0	0.4418	0.3990	2861
10	0.4439	0.4019	2851
20	0.4463	0.4049	2837
30	0.4493	0.4076	2820
40	0.4517	0.4099	2804
50	0.4551	0.4134	2777
60	0.4559	0.4136	2767
70	0.4574	0.4152	2751
80	0.4572	0.4131	2745
90	0.4565	0.4170	2780

Temperatura de color global calculada por el SW: 2801 K

$\Delta u'v'$  max (considerando todas direcciones) = 0.006

$\Delta u'v'$  max (considerando hasta ángulo de apertura) = 0.0057

Total luminous flux: 2 987.18  
 Total radiant flux: 9.19114  
 Radiant efficacy: 325.007  
 Total Photon Flux: 4.90115  
 Photon Efficacy: 0.014316  
 Total PAR Flux: 4.65278  
 PAR Efficacy: 1.48782e-308  
 PAR / Lumens: 1.27342e-253  
**CCT: 2 801.82(K)**  
 x , y : (0.45218, 0.410367)  
 u , v : (0.257651, 0.350739)  
 u' , v' : (0.257651, 0.526108)

#### ANGULAR COLOR UNIFORMITY:

Delta u'v' over beam angle:  
 Max : 0.00572918 (0v, 0h)  
 Min : 3.5621e-005 (40v, 60h)  
 Avg : 0.00275346 (0.257509u', 0.525593v')

Delta u'v' over field angle:  
 Max : 0.00625492 (0v, 0h)  
 Min : 9.81091e-005 (40v, 0h)  
 Avg : 0.00283457 (0.25765u', 0.526099v')

## EJEMPLOS DE DIFERENTES LEDs:

### LED 2: 3000K

PLANO C0			
gamma (º)	x	y	Tc (K)
0	0.4211	0.3809	3087
10	0.4218	0.3810	3076
20	0.4240	0.3841	3061
30	0.4263	0.3889	3059
40	0.4309	0.3943	3023
50	0.4347	0.3992	2985
60	0.4389	0.4059	2973
70	0.4403	0.4069	2958
80	0.4373	0.4036	2983
90	0.4254	0.3813	3010

PLANO C90			
gamma (º)	x	y	Tc (K)
0	0.4211	0.3809	3087
10	0.4217	0.3827	3093
20	0.4266	0.3887	3051
30	0.4266	0.3887	3051
40	0.4299	0.3944	3041
50	0.4359	0.4006	2975
60	0.4401	0.4057	2951
70	0.4397	0.4076	2985
80	0.4370	0.4025	2978
90	0.4319	0.3925	2974

Temperatura de color global calculada por el SW: 3034 K

$\Delta u'v'$  max (considerando todas direcciones) = 0.008

$\Delta u'v'$  max (considerando hasta ángulo de apertura) = 0.0054

Total luminous flux: 2 962.83  
 Total radiant flux: 9.41011  
 Radiant efficacy: 314.856  
 Total Photon Flux: 4.85838  
 Photon Efficacy: 0.0145956  
 Total PAR Flux: 4.5955  
 PAR Efficacy: 2.73232e-305  
 PAR / Lumens: 1.67166e-243  
 CCT: **3 034.07(K)**  
 x , y : (0.43011, 0.393832)  
 u , v : (0.250582, 0.34417)  
 u' , v' : (0.250582, 0.516256)

#### ANGULAR COLOR UNIFORMITY:

Delta u'v' over beam angle:

Max : 0.00541976 (50v, 75h)  
 Min : 0.000826215 (30v, 105h)  
 Avg : 0.00337982 (0.250468u', 0.514581v')

Delta u'v' over field angle:

Max : 0.00775079 (70v, 345h)  
 Min : 4.18999e-005 (40v, 165h)  
 Avg : 0.00465238 (0.250583u', 0.516234v')

## EJEMPLOS DE DIFERENTES LEDs:

### LED 3: 4000K

PLANO C0			
gamma (°)	x	y	Tc (K)
0	0.3725	0.3629	4124
10	0.3716	0.3621	4145
20	0.3739	0.3660	4105
30	0.3771	0.3701	4045
40	0.3824	0.3789	3963
50	0.3860	0.3840	3906
60	0.3911	0.3934	3846
70	0.3968	0.4009	3767
80	0.4034	0.4095	3686
90	0.4195	0.4161	3416

PLANO C90			
gamma (°)	x	y	Tc (K)
0	0.3725	0.3629	4124
10	0.3719	0.3627	4142
20	0.3744	0.3654	4087
30	0.3769	0.3698	4047
40	0.3822	0.3780	3963
50	0.3862	0.3852	3910
60	0.3918	0.3927	3824
70	0.3969	0.4014	3767
80	0.4035	0.4092	3683
90	0.4186	0.4153	3428

Temperatura de color global calculada por el SW: 3924 K

$\Delta u'v'$  max (considerando todas direcciones) = 0.015

$\Delta u'v'$  max (considerando hasta ángulo de apertura) = 0.0095

Total luminous flux: 2 987.76  
 Total radiant flux: 8.65304  
 Radiant efficacy: 345.284  
 Total Photon Flux: 4.71185  
 Photon Efficacy: 0.0131728  
 Total PAR Flux: 4.54836  
 PAR Efficacy: 2.01796e-268  
 PAR / Lumens: 72  
 CCT: **3 923.82(K)**  
 x , y : (0.385052, 0.382091)  
 u , v : (0.226003, 0.336398)  
 u' , v' : (0.226003, 0.504596)

#### ANGULAR COLOR UNIFORMITY:

Delta u'v' over beam angle:

Max : 0.00946095 (10v, 225h)  
 Min : 9.23816e-005 (40v, 345h)  
 Avg : 0.00573738 (0.225775u', 0.502216v')

Delta u'v' over field angle:

Max : 0.0151446 (80v, 240h)  
 Min : 0.00102735 (50v, 0h)  
 Avg : 0.00787106 (0.225959u', 0.504558v')

## LEGISLACIÓN ESPECÍFICA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS:

### CANARIAS: OTPC – IAC

El artículo 7 del RD. 243/92 del Reglamento de la Ley 31/88 sobre protección de la calidad astronómica de los observatorios del IAC establece que la suma de las radiancias espectrales por debajo de los 440 nanómetros debe ser inferior al 15% de la radiancia total (para las lámparas de descarga existentes en esa época). En general, la Normativa impone el uso de lámparas de vapor de sodio. Para el uso de otros tipos de lámparas, como los LED, se incluye en el catálogo de especificaciones técnicas la descripción y uso de las mismas, de acuerdo al RD. 580/2017 por el que se modifica el RD. 243/92.

Zonificación establecida en su documento “CATÁLOGO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS APLICABLES A LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR SUJETAS AL REGLAMENTO DE LA LEY 31/1988 SOBRE PROTECCIÓN DE LA CALIDAD ASTRONÓMICA DE LOS OBSERVATORIOS DEL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS”

Web: <https://www.iac.es/servicios.php?op1=28&op2=73>

## LEGISLACIÓN ESPECÍFICA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS:

### CANARIAS: OTPC – IAC



#### **G-0) ÁMBITO DE APLICACIÓN:**

La totalidad de la isla de La Palma y, a partir del 22 de Abril de 1.992, en nuevas instalaciones en la parte de Tenerife con visión directa desde la Isla de La Palma (desde la cumbre al mar pasando por la franja que une las zonas de Roques de Anaga, Punta del Hidalgo, Teno y Arona (hasta Las Galletas, Costa del Silencio). Ver plano de zonificación en [www.iac.es\otpc](http://www.iac.es\otpc)



#### **Zonificación aproximada**

- Zonas de Tenerife que tienen visión directa desde La Palma (aproximado). Mapa ([imagen jpg](#)).Capa Google Earth ([fichero kmz](#)). Capa en [Google Maps](#). Se recomienda consultar las zonas limítrofes.
- ZAS. Zonas de La Palma de alta sensibilidad (con visión directa y/o menos de 9 km. del ORM). Mapa ([imagen jpg](#)). Se recomienda consultar las zonas limítrofes.



## LEGISLACIÓN ESPECÍFICA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS:

### CANARIAS: OTPC – IAC

Criterios claros y específicos a cerca del tipo de producto que se puede instalar en zonas con protección:

El LED ÁMBAR PURO IAC no tiene restricciones de uso y pueden usarse con los requerimientos de las lámparas de VSBP.

Los LED ÁMBAR IAC, pueden usarse con los requerimientos de las lámparas de VSAP. Su uso está limitado en la isla de La Palma y sin restricciones en la isla de Tenerife por debajo de los 1000m de altura.

El LED BLANCO SÚPER CÁLIDO IAC está generalmente destinados para su uso en zonas peatonales urbanas, de forma limitada en la Palma y sin restricciones en Tenerife.

El LED BLANCO CÁLIDO IAC está destinados para su uso en zonas peatonales urbanas en Tenerife por debajo de los 1000m de altura y en la Palma solo antes de medianoche.

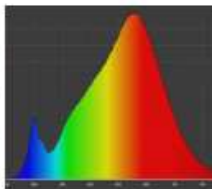
## LEGISLACIÓN ESPECÍFICA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS:

### CANARIAS: OTPC – IAC

Tipo de LEDs permitidos y sus características bien definidas / listado de productos homologados.

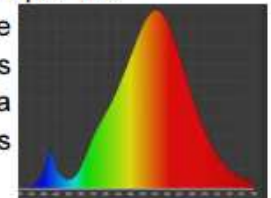
#### LEDES BLANCOS CÁLIDOS: “LED BLANCO CÁLIDO IAC”:

Los led blanco cálido IAC, deben cumplir las siguientes especificaciones: la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda por debajo de los **500nm**,  $\sum R(\lambda < 500)$ , por unidad de lumen,  $\sum [R(\lambda) \times V(\lambda)]$ , no deberá superar el valor **0,25** medida en el rango de 350-800nm (380-780nm si la radiancia es nula fuera de este rango) y cualquier emisión singular por debajo de los 500nm (azul) no deberá superar el valor de **0,6** obtenido con la división de la radiancia singular máxima entre los lúmenes y multiplicado por 100 ( $R(\lambda_p < 500) / \sum [R(\lambda) \times V(\lambda)] \times 100 \leq 0,6$ ). Máximo valor de radiancia en 595±10nm. Los actuales ledes blancos cálidos con temperatura inferior a **2.700°K** y reducida emisión azul, **<0,36** la relación entre radiancias máximas azul/ámbar, podrían cumplir este criterio. (\*)



#### LEDES BLANCOS SÚPER CÁLIDOS: “LED BLANCO SÚPER CÁLIDO IAC”:

Para los led blanco súper cálido IAC (uso restringido en La Palma), la especificación se establece como sigue: la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda por debajo de los **500nm**,  $\sum R(\lambda < 500)$ , por unidad de lumen,  $\sum [R(\lambda) \times V(\lambda)]$ , no deberá superar el valor **0,15** medida en el rango de 350-800nm (380-780nm si la radiancia es nula fuera de este rango) y cualquier emisión singular por debajo de los 500nm (azul) no deberá superar el valor de **0,4** obtenido con la división de la radiancia singular máxima entre los lúmenes y multiplicado por 100 ( $R(\lambda_p < 500) / \sum [R(\lambda) \times V(\lambda)] \times 100 \leq 0,4$ ). Máximo valor de radiancia en 595±10nm. Los actuales ledes blancos cálidos con temperatura inferior a **2.200°K** y reducida emisión azul, **<0,23** la relación entre radiancias máximas azul/ámbar, podrían cumplir este criterio. (\*)



(\*) Se advierte que la temperatura de color no es un criterio válido sino burdo para la definición de este tipo de lámparas.

## LEGISLACIÓN ESPECÍFICA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS:

### CANARIAS: OTPC – IAC

Tipo de LEDs permitidos y sus características bien definidas / listado de productos homologados.

#### LEDES EQUIVALENTES AL VSAP: “LED ÁMBAR IAC”:

Ledes Ámbar IAC deben cumplir las siguientes especificaciones: menos del 0,60% de la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda inferiores a 440nm, menos del 1,5% de la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda inferiores a 500nm y menos del 7% (10% con filtro si tienen cero radiancia espectral en el espectro azul y menos del 1% de la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda inferiores a 500nm) de la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda inferiores a 550nm, respecto a la radiancia total, medida en el rango de 350-800nm (380-780nm si la radiancia es nula fuera de este rango), con máximo valor de radiancia en  $595\pm 10\text{nm}$  y ancho de banda medio inferior a 90nm (110nm con filtro). Ni habrá una radiancia espectral singular por debajo de los 500nm que sobrepase  $1/50$  de la radiancia máxima del led, y al menos la suma de la radiancia espectral para todas las longitudes de onda entre 550nm y 700nm será del 90% (86% con filtro) respecto de la radiancia total.

#### LEDES EQUIVALENTES AL VSBP: “LED ÁMBAR PURO IAC”:

Ledes Ámbar Puro, deben cumplir las siguientes especificaciones: 0% de la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda por debajo de 500nm y e inferior al 0,5% por encima de 700nm, inferior a 0,5% la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda en el intervalo 500-550nm e inferior al 0,5% en el intervalo 650-700nm, medido respecto a la radiancia total en el rango de 500-700nm; no habrá una emisión singular en estos rangos que sobrepase  $1/100$  de la emisión máxima del led; valor máximo en  $595\pm 10\text{nm}$  y ancho medio de banda igual o inferior a 18nm.

## LEGISLACIÓN ESPECÍFICA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS:

### CANARIAS: OTPC – IAC

Información en la página web: <https://www.iac.es/servicios.php?op1=28&op2=73>



## LEGISLACIÓN ESPECÍFICA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS:

### CATALUNYA - Departament de Territori i Sostenibilitat

Decret 190/2015, de 25 d'agost, de desplegament de la Llei 6/2001, de 31 de maig, d'ordenació ambiental de l'enllumenament per a la protecció del medi nocturn.

Zonificació clara establerta i disponible per a consulta en la web del Departament de Territori i Sostenibilitat.

[http://mediambient.gencat.cat/es/05\\_ambits\\_dactuacio/atmosfera/contaminacio\\_luminica/](http://mediambient.gencat.cat/es/05_ambits_dactuacio/atmosfera/contaminacio_luminica/)



The screenshot shows a web page with a breadcrumb trail: Inicio > Medio ambiente > Atmósfera > Contaminación lumínica. The main heading is 'Contaminación lumínica' with a red menu icon to its left. Below the heading is a photograph of a night sky with city lights. To the right of the image is a text block describing light pollution and providing information on how to find more details.

Inicio > Medio ambiente > Atmósfera > Contaminación lumínica

## ☰ Contaminación lumínica



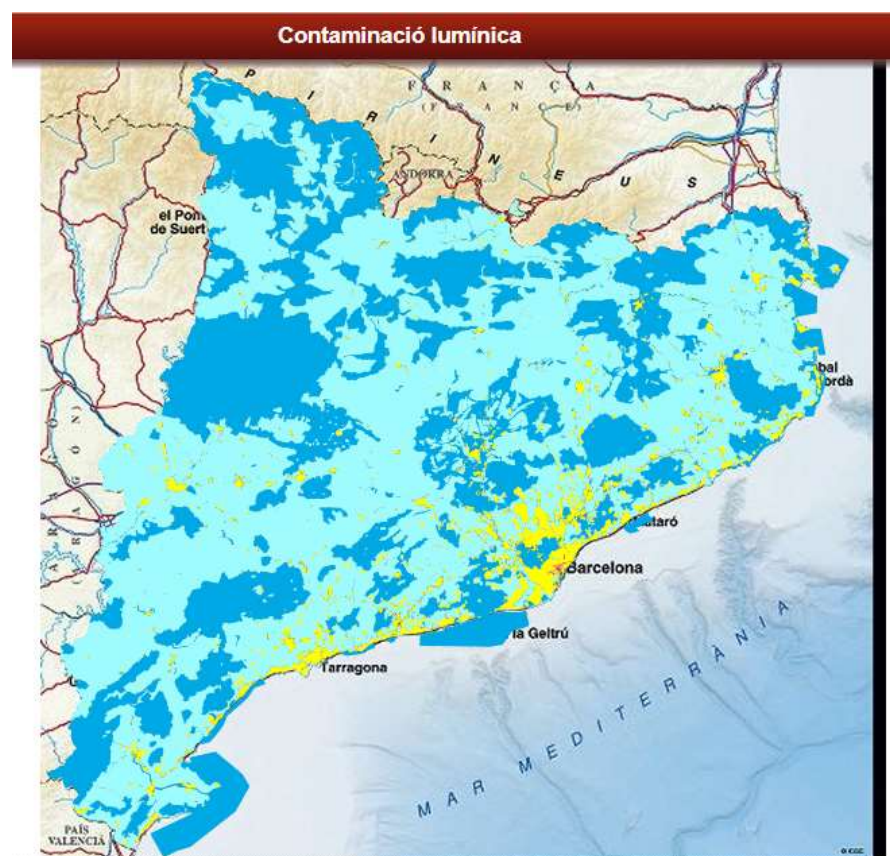
La contaminación lumínica se caracteriza por el aumento del fondo de brillo del cielo nocturno a causa de la dispersión de la luz procedente de la iluminación artificial.

En este apartado encontraréis toda la información relativa a la contaminación lumínica: el Mapa de la protección contra la contaminación lumínica en Cataluña, las medidas de prevención, la normativa reguladora y otra información de interés.

## LEGISLACIÓN ESPECÍFICA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS:

### CATALUNYA - Departament de Territori i Sostenibilitat

<http://sig.gencat.cat/visors/pcl.html>



## LEGISLACIÓN ESPECÍFICA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS:

### CATALUNYA - Departament de Territori i Sostenibilitat

Criterios claros y específicos a cerca del tipo de producto que se puede instalar en todo el territorio:

Zona de protecció	Horari de vespre	Horari de nit
E1	Tipus I	Tipus I
E2	Tipus III	Tipus II
E3 i E4	Tipus III	Tipus III

Tipus I. Làmpades que tinguin menys del 2 % de radiància per sota dels 440 nm, dins del rang de longituds d'ona comprès entre 280 i 780 nm. En el cas de LED, han de tenir menys de l'1% per sota dels 500 nm i longitud d'ona predominant per sobre dels 585 nm.

Tipus II. Làmpades que tinguin menys del 5 % de radiància per sota dels 440 nm, dins del rang de longituds d'ona comprès entre 280 i 780 nm. En el cas de LED, han de tenir menys de l'15% per sota dels 500 nm.

Tipus III. Làmpades que tinguin menys del 15% de radiància per sota dels 440 nm, dins del rang de longituds d'ona comprès entre 280 i 780 nm.

Les làmpades han de complir amb el percentatge de radiacions electromagnètiques establerts anteriorment. En el cas de no poder justificar documentalment aquest percentatge, s'accepten les làmpades que emeten llum de temperatura de color igual o inferior a 3.000 K com a tipus II, i com a tipus III les làmpades amb temperatura de color superior a 3.000 K i igual o inferior a 4.200 K.

## LEGISLACIÓN ESPECÍFICA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS:

### ANDALUCÍA - Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y desarrollo sostenible

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vnextoid=0c dfa41d76567510VgnVCM2000000624e50aRCRD&vnextchannel=21c62de6577ba410VgnVCM1000001325e50aRCRD>

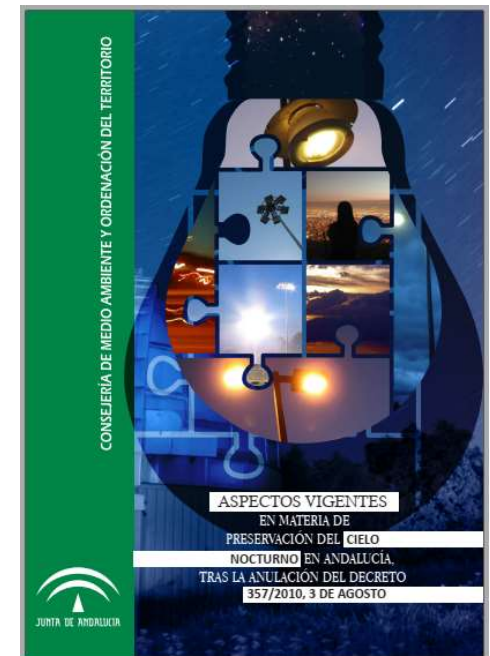
Las zonas E1 de máxima protección de Andalucía se aprobaron por Resolución de 25 de enero de 2012 de la Dirección General de Prevención y Calidad Ambiental. El procedimiento para la aprobación del resto de zonas lumínicas, según la Ley GICA, ha de desarrollarse reglamentariamente. Por tanto, hasta la aprobación del nuevo reglamento, los ayuntamientos no tienen la obligación de zonificar sus términos municipales.

No obstante, aquellos municipios que decidan optar por la preservación del cielo nocturno, como patrimonio natural, fomentando así su explotación como recurso científico, económico, cultural y paisajístico, o aquellos que vayan a realizar una renovación de alumbrado, teniendo en cuenta que este tipo de inversiones son significativas para los ayuntamientos y que la vida útil media de una instalación en torno a los 20 años, al objeto de optimizar la gestión de los recursos públicos y evitar adecuaciones futuras, se recomienda tener en cuenta la definición de zonas del futuro Decreto para la preservación de la oscuridad natural de la noche frente a la contaminación lumínica:

- > **Zona E1:** suelo no urbanizable de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía y de áreas con cielos de calidad muy buena y excelente, según [QSkyMap](#).
- > **Zonas E2:** suelo urbanizable y no urbanizable, no declarado como E1. Así como la superficie de transición necesaria, establecida desde el límite de las zonas E1 para garantizar su protección.
- > **Zonas E3:** suelo urbano que no sea E2 de transición.
- > **Zonas E4:** áreas en núcleos de población con elevada actividad en horario nocturno. Estas zonas deben reducirse a las mínimas indispensables dada su incidencia sobre la calidad del cielo nocturno. Los municipios podrán establecer una doble zonificación en áreas concretas donde la estacionalidad origine marcadas diferencias de uso, considerándose zona lumínica E4, en la época de mayor afluencia y zona lumínica E3, el resto del año.

Hasta la anulación del Decreto, la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio había participado en la elaboración y supervisión de más de 400 propuestas de zonificación municipal a petición de los ayuntamientos. Esto supone en torno al 55% del territorio Andaluz.

Los ayuntamientos que ya disponen de zonificación lumínica aprobada, ésta sigue estando vigente.





## LEGISLACIÓN ESPECÍFICA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS:

### ANDALUCÍA - Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y desarrollo sostenible

La Consejería incorporará el Índice G al nuevo Reglamento para la preservación de la oscuridad natural de la noche frente a la contaminación lumínica, al objeto de garantizar el uso de fuentes de luz con el mínimo contenido posible en el azul en horas nocturnas y en todo el territorio andaluz. Dependiendo de la [zona lumínica](#) en la que se encuentre se debe cumplir con unos valores determinados de Índice espectral G



Zona lumínica	Índice espectral G	Comparación entre Índice espectral G / TCC (K) para distintos tipos de fuentes de luz	
		Cumplen	No cumplen
E1, E2 y E3 insertas en E1	G ≥ 2,0	PC Ámbar: 4,9 / 1727 Vapor de sodio baja presión: 3,8 / 1834 Vapor de sodio alta presión: 2,2 / 2010 Incandescente: 2,1 / 2554 Fluorescente: 2,05 / 3000 LED: 2,1 / 2244 LED: 2,02 / 2500	LED: 1,9 / 2340 LED: 1,6 / 2680 Incandescente: 1,5 / 2574
E3	G ≥ 1,5	LED: 1,6 / 3000	Fluorescente: 1,46 / 2569 Halogenuro metálicos: 1 / 2719 LED: 1,2 / 3000
E4	G ≥ 1,0	LED: 1,06 / 4000	Halogenuro metálicos: 0,4 / 4700 LED: 0,8 / 4000

$$G = -2.5 \log_{10} \frac{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{500 \text{ nm}} E(\lambda)}{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} E(\lambda)V(\lambda)}$$

## LEGISLACIÓN ESPECÍFICA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS:

### ANDALUCÍA - Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y desarrollo sostenible

#### 5. EL ÍNDICE ESPECTRAL G EN EL PROYECTO DE REGLAMENTO ANDALUZ

El índice espectral G se incorpora al proyecto de reglamento para la preservación de la oscuridad natural de la noche frente a la contaminación lumínica con el objeto de establecer los requerimientos ambientales asociados a las fuentes de luz en función de la zona lumínica en que los sistemas de iluminación se encuentren.

En la siguiente tabla se presentan dichos requerimientos espectrales:

Zona lumínica	Índice espectral G
E1, E2 y E3 insertas en E1	$G \geq 2,0$
E3	$G \geq 1,5$
E4	$G \geq 1,0$

En la zona de influencia de un punto de referencia, definida como aquella en la que el observatorio astronómico, declarado como tal, lleva a cabo su actividad, se utilizarán **fuentes de luz ámbar asimilables a monocromáticas**, entendiéndose como tales aquellas cuyo **índice espectral G sea mayor o igual que 3,5**, la longitud de onda efectiva se encuentre en el intervalo 585-605 nm y la anchura del espectro sea menor o igual que 25 nm. La definición de estos conceptos adicionales se puede consultar en los apéndices de este documento.

## EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO :

- No se tiene en cuenta el cambio cromático angular de algunos LEDs, a excepción del IAC.
- No se hace referencia a la alimentación del LED, a excepción de Canarias.

*¿Cómo afectan estos parámetros al cumplimiento o no de las normas / directivas existentes?*

## EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO: LEDS CÁLIDOS – TEMPERTURA DE COLOR INFERIOR A 3000K

### ÁNÁLISIS ESPECTRO GLOBAL

2700K - LED		
	TC GLOBAL (K)	TC (GAMMA 0) (K)
LED1	2802	2861
LED2	2498	2500

ÁNÁLISIS IAC - BLANCO CÁLIDO IAC			
LED1		BLANCO CÁLIDO	CUMPLIMIENTO
[380-500]		0.278	NO CUMPLE
$(R(\lambda_{p<500}) / \sum[R(\lambda) \times V(\lambda)]) \times 100$		0.591	CUMPLE $\leq 0.6$
$\lambda$ max		600	CUMPLE
LED2		BLANCO CÁLIDO	CUMPLIMIENTO
[380-500]		0.140	CUMPLE $< 0.25$
$(R(\lambda_{p<500}) / \sum[R(\lambda) \times V(\lambda)]) \times 100$		0.353	CUMPLE $\leq 0.6$
$\lambda$ max		630	NO CUMPLE

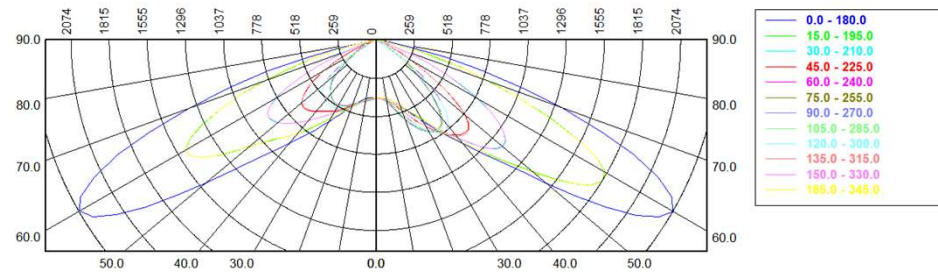
GENERALITAT DE CATALUNYA. DECRET 190/2015			
LED1			ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	0.75%	TIPO II	E2, E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	14.88%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	600		
LED2			ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	0.61%	TIPO II	E2, E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	13.20%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	600		

ÁNÁLISIS G		
	CALCULO G	ZONA/S PERMITIDA
LED1	1.39	zona 4
LED2	2.14	zonas 1, 2, 3 y 4

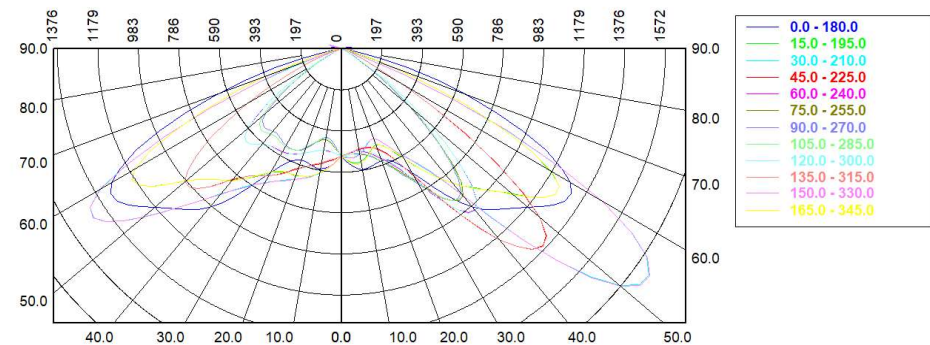
## EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO: LEDS CÁLIDOS – TEMPERTURA DE COLOR INFERIOR A 3000K

### ÁNALISIS ESPECTRO ANGULAR (DOS DIRECCIONES) – LEDS CON LENTES

2700K - LED + LENTE VIAL 1			
	TC GLOBAL (K)	TC (GAMMA 0) (K)	TC (GAMMA MAX) (K)
LED1	2807	2847	2799
LED2	2498	2490	2521



2700K - LED + LENTE VIAL 2			
	TC GLOBAL (K)	TC (GAMMA 0) (K)	TC (GAMMA MAX) (K)
LED1	2805	2843	2756
LED2	2499	2512	2523



## EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO: LEDS CÁLIDOS – TEMPERTURA DE COLOR INFERIOR A 3000K

### ÁNÁLISIS ESPECTRO ANGULAR (DOS DIRECCIONES) – LEDS CON LENTES

GENERALITAT DE CATALUNYA. DECRET 190/2015 - LED + LENTE VIAL 1			
LED1 + LENTE 1 (gamma 0)			ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	0.66%	TIPO II	E2, E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	14.05%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	600		
LED1 + LENTE 1 (gamma max)			ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	0.59%	TIPO II	E2, E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	12.84%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	600		
LED2 + LENTE 1 (gamma 0)			ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	0.31%	TIPO II	E2, E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	4.75%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	630		
LED2 + LENTE 1 (gamma MAX)			ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	0.55%	TIPO II	E2, E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	6.17%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	630		

ÁNÁLISIS G - LED + LENTE VIAL 1			
	CALCULO G (gamma0)	CALCULO G (gamma max)	ZONA/S PERMITIDA
LED1	1.31	1.42	zona 4
LED2	2.37	2.07	zonas 1, 2, 3 y 4

ÁNÁLISIS IAC - BLANCO CÁLIDO IAC - LED + LENTE VIAL 1			
LED1 gamma 0	BLANCO CÁLIDO	CUMPLIMIENTO	
[380-500]	0.298	NO CUMPLE	
$(R(\lambda_{p<500}) / \sum[R(\lambda) \times V(\lambda)]) \times 100$	0.653	NO CUMPLE	
$\lambda$ max	600	CUMPLE	
LED1 max	BLANCO CÁLIDO	CUMPLIMIENTO	
[380-500]	0.270	NO CUMPLE	
$(R(\lambda_{p<500}) / \sum[R(\lambda) \times V(\lambda)]) \times 100$	0.568	CUMPLE <= 0.6	
$\lambda$ max	600	CUMPLE	
LED2 gamma 0	BLANCO CÁLIDO	CUMPLIMIENTO	
[380-500]	0.113	CUMPLE < 0.25	
$(R(\lambda_{p<500}) / \sum[R(\lambda) \times V(\lambda)]) \times 100$	0.353	CUMPLE <= 0.6	
$\lambda$ max	630	NO CUMPLE	
LED2 max	BLANCO CÁLIDO	CUMPLIMIENTO	
[380-500]	0.149	CUMPLE < 0.25	
$(R(\lambda_{p<500}) / \sum[R(\lambda) \times V(\lambda)]) \times 100$	0.355	CUMPLE <= 0.6	
$\lambda$ max	630	NO CUMPLE	

## EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO: LEDS CÁLIDOS – TEMPERTURA DE COLOR INFERIOR A 3000K

### ÁNÁLISIS ESPECTRO ANGULAR (DOS DIRECCIONES) – LEDS CON LENTES

GENERALITAT DE CATALUNYA. DECRET 190/2015 - LED + LENTE VIAL 2				
LED1+ LENTE 2 (gamma 0)			TIPO II	ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm		0.57%		
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm		12.40%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN		600		
LED1+ LENTE 2 (gamma max)			TIPO II	ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm		0.72%		
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm		14.35%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN		600		
LED2 + LENTE 2 (gamma 0)			TIPO II	ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm		0.32%		
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm		4.86%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN		630		
LED2 + LENTE 2 (gamma MAX)			TIPO II	ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm		0.55%		
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm		6.15%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN		630		

ÁNÁLISIS G - LED + LENTE VIAL 2			
	CALCULO G (gamma0)	CALCULO G (gamma max)	ZONA/S PERMITIDA
LED1	1.29	1.46	zona 4
LED2	2.34	2.07	zonas 1, 2, 3 y 4

ÁNÁLISIS IAC - BLANCO CÁLIDO IAC - LED + LENTE VIAL 2		
LED1 gamma 0	BLANCO CÁLIDO	CUMPLIMIENTO
[380-500]	0.260	NO CUMPLE
$(R(\lambda_{p<500}) / \sum[R(\lambda) \times V(\lambda)]) \times 100$	0.544	CUMPLE <= 0.6
$\lambda$ max	600	CUMPLE
LED1 max	BLANCO CÁLIDO	CUMPLIMIENTO
[380-500]	0.306	NO CUMPLE
$(R(\lambda_{p<500}) / \sum[R(\lambda) \times V(\lambda)]) \times 100$	0.668	NO CUMPLE
$\lambda$ max	600	CUMPLE
LED2 gamma 0	BLANCO CÁLIDO	CUMPLIMIENTO
[380-500]	0.116	CUMPLE < 0.25
$(R(\lambda_{p<500}) / \sum[R(\lambda) \times V(\lambda)]) \times 100$	0.358	CUMPLE <= 0.6
$\lambda$ max	630	NO CUMPLE
LED2 max	BLANCO CÁLIDO	CUMPLIMIENTO
[380-500]	0.149	CUMPLE < 0.25
$(R(\lambda_{p<500}) / \sum[R(\lambda) \times V(\lambda)]) \times 100$	0.353	CUMPLE <= 0.6
$\lambda$ max	630	NO CUMPLE

## EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO: LEDS CÁLIDOS – TEMPERTURA DE COLOR DE 3000K

### ÁNALISIS ESPECTRO GLOBAL

3000K - LED		
	TC GLOBAL (K)	TC (GAMMA 0) (K)
LED1	3034	3087
LED2	2928	2965

GENERALITAT DE CATALUNYA. DECRET 190/2015			
LED1			ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	4.87%	TIPO III	E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	15.06%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	610		
LED2			ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	3.27%	TIPO II	E2, E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	12.81%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	610		

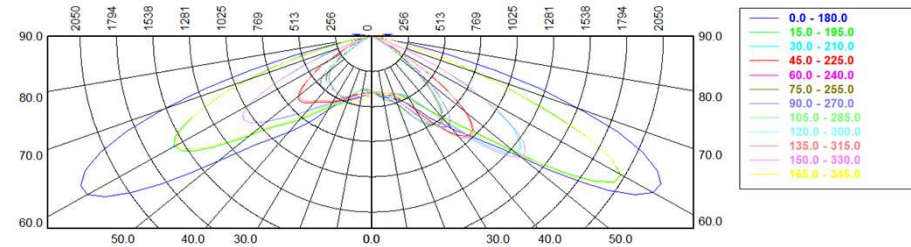
ÁNÁLISIS G		
	CALCULO G	ZONA/S PERMITIDA
LED1	1.21	Zona 4
LED2	1.39	Zona 4



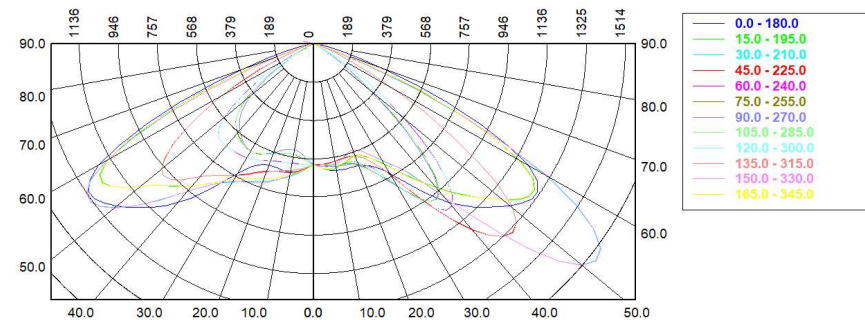
## EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO: LEDS CÁLIDOS – TEMPERTURA DE COLOR DE 3000K

### ÁNALISIS ESPECTRO ANGULAR (DOS DIRECCIONES) – LEDS CON LENTES

3000K - LED + LENTE VIAL 1			
	TC GLOBAL (K)	TC (GAMMA 0) (K)	TC (GAMMA MAX) (K)
LED1	3033	3108	3002
LED2	2930	2944	2918



3000K - LED + LENTE VIAL 2			
	TC GLOBAL (K)	TC (GAMMA 0) (K)	TC (GAMMA MAX) (K)
LED1	3034	3097	2995
LED2	2929	3010	2890



## EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO: LEDS CÁLIDOS – TEMPERTURA DE COLOR DE 3000K

### ÁNÁLISIS ESPECTRO ANGULAR (DOS DIRECCIONES) – LEDS CON LENTES

GENERALITAT DE CATALUNYA. DECRET 190/2015 - LED + vial 1			
LED1 + LENTE 1 (gamma 0)			ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	5.56%	TIPO III	E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	16.61%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	600		
LED1 + LENTE 1 (gamma max)			ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	4.39%	TIPO II	E2, E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	13.97%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	600		
LED2 + LENTE 1 (gamma 0)			ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	3.49%	TIPO II	E2, E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	13.47%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	600		
LED2 + LENTE 1 (gamma MAX)			ZONA/S PERMITIDA
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	3.16%	TIPO II	E2, E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	12.45%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	610		

ANÁLISIS G - LED + LENTE VIAL 1			
	CALCULO G (gamma0)	CALCULO G (gamma max)	ZONA/S PERMITIDA
LED1	1.08	1.30	Zona 4
LED2	1.33	1.42	Zona 4

## EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO: LEDS CÁLIDOS – TEMPERTURA DE COLOR DE 3000K

### ÁNÁLISIS ESPECTRO ANGULAR (DOS DIRECCIONES) – LEDS CON LENTES

GENERALITAT DE CATALUNYA. DECRET 190/2015 - LED + vial 2			
<b>LED1 + LENTE 2 (gamma 0)</b>			<b>ZONA/S PERMITIDA</b>
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	5.59%	TIPO III	E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	16.61%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	610		
<b>LED1 + LENTE 2 (gamma max)</b>			<b>ZONA/S PERMITIDA</b>
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	4.35%	TIPO II	E2, E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	13.96%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	600		
<b>LED2 + LENTE 2 (gamma 0)</b>			<b>ZONA/S PERMITIDA</b>
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	3.68%	TIPO II	E2, E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	14.10%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	600		
<b>LED2 + LENTE 2 (gamma max)</b>			<b>ZONA/S PERMITIDA</b>
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 440 nm	3.07%	TIPO II	E2, E3 Y E4
% RADIANCIA POR DEBAJO DE 500 nm	12.11%		
LONGITUD DE ONDA MÁXIMA EMISIÓN	610		

ÁNÁLISIS G - LED + LENTE VIAL 2			
	CALCULO G (gamma0)	CALCULO G (gamma max)	ZONA/S PERMITIDA
LED1	1.08	1.31	Zona 4
LED2	1.27	1.45	Zona 4

## EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO: CASO REAL – LUMIARIA CON LENTES / LEDS ALIMENTADOS DE FORMA DIFERENTE

### ÁNALISIS ESPECTRO ANGULAR (DOS DIRECCIONES) Y ALIMENTACIÓN – LEDS CON LENTES



## EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO: CASO REAL – LUMIARIA CON LENTES / LEDS ALIMENTADOS DE FORMA DIFERENTE

### ÁNALISIS ESPECTRAL DIRECCIÓN FRONTAL

		CLASIFICACIÓN IAC - BLANCO CÁLIDO (NO CUMPLE)		
mA LED	Temperatura de color (K)	$\sum[R(\lambda) / \sum[R(\lambda) \times V(\lambda) (380-830) < 0.25$	$R(\lambda_{p<500}) / [R(\lambda) \times V(\lambda)] \times 100 \leq 0.6$	$585 \leq \lambda_{max} \leq 605$
500	2803	0.28	0.79	607
230	2806	0.27	0.84	608

		CLASIFICACIÓN REAL DECRETO 190/2015			
mA LED	Temperatura de color (K)	% radiacion por debajo 440 nm	% radiacion por debajo 500 nm	TIPO	ZONAS PERMITIDAS
500	2803	2.8	13	TIPO II	E2, E3 Y E4
230	2806	2.5	12.5	TIPO II	E2, E3 Y E4

		EVALUACIÓN ANDALUCIA	
mA LED	Temperatura de color (K)	G	ZONA/S PERMITIDAS
500	2803	1.38	E4
230	2806	1.43	E4

## EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO: CASO REAL – LUMIARIA CON LENTES / LEDS ALIMENTADOS DE FORMA DIFERENTE

### ÁNALISIS ESPECTRAL DIRECCIÓN MÁXIMA EMISIÓN

		CLASIFICACIÓN IAC - BLANCO CÁLIDO (NO CUMPLE)		
mA LED	Temperatura de color (K)	$\sum[R(\lambda) / \sum[R(\lambda) \times V(\lambda) (380-830) < 0.25$	$R(\lambda_{p<500}) / [R(\lambda) \times V(\lambda)] \times 100 \leq 0.6$	$585 \leq \lambda_{max} \leq 605$
500	2771	0.23	0.60	608
230	2753	0.22	0.64	611

		CLASIFICACIÓN REAL DECRETO 190/2015			
mA LED	Temperatura de color (K)	% radiacion por debajo 440 nm	% radiacion por debajo 500 nm	TIPO	ZONAS PERMITIDAS
500	2771	2.6	11.3	TIPO II	E2, E3 Y E4
230	2753	2.2	10.8	TIPO II	E2, E3 Y E4

		EVALUACIÓN ANDALUCÍA	
mA LED	Temperatura de color (K)	G	ZONA
500	2771	1.57	E3 Y E4
230	2753	1.62	E3 Y E4

## CONCLUSIONES

- Cuanto menor es la temperatura de color del LED el efecto de cambio cromático angular también es menor. Ojo con los LEDs de 4000K donde podemos ver este efecto muy marcado, siendo apreciable a simple vista en muchos casos. Este tipo de LEDs debería tener un uso mucho más restringido – Porcentajes de radiación emitida por debajo de 500 nm entre 20% - 27%.
- El efecto de cambio cromático angular en LEDs ámbar no parece importante a la hora de cumplir o no con las normas existentes. El análisis que se haga del LED o Luminaria bien sea direccional o global ofrece resultados muy similares.
- Los LEDs marcados como 3000K, cuya temperatura de color global pueda estar entre los 2800K y los 3100K, pueden ofrecer resultados diferentes según que análisis se haga de ellos. Pueden ser de un tipo u otro en función de si analizamos en una o varias direcciones o analicemos su emisión globalmente.
- Las lentes pueden hacer mitigar o aumentar los cambios cromáticos angulares de los LEDs, por lo que un mismo LED puede cumplir o no un determinado requisito en función de la lente que incorpore.
- El cambio de mA provoca ligeros cambios en la distribución espectral.

Elena Sanjuán Sánchez  
esanjuan@candeltec.es

candelTEC S.L.  
[www.candeltec.es](http://www.candeltec.es)

