

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR ACTUACIONES EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	GUÍA-EA-ANEXO III
		Edición: mayo 2013 Revisión: 1

## ANEXO - III

# ACTUACIONES EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

### ÍNDICE

1	INFLUENCIA DEL ALUMBRADO VIAL SOBRE LOS ACCIDENTES.....	2
1.1	<i>CAPACIDAD VISUAL NOCTURNA .....</i>	3
1.2	<i>EFFECTOS DE LA EDAD EN LA VISIÓN .....</i>	4
2	RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DE TRAMOS DE CARRETERAS A ILUMINAR .....	5
3	REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN EN CARRETERAS.....	7
3.1	<i>PROBABILIDAD DE VISIÓN .....</i>	7
3.2	<i>NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN ADMISIBLES.....</i>	9
4	RECOMENDACIONES PARA EL APAGADO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO DE CARRETERAS... 10	
5	MEDIDAS DE AHORRO EN EL ALUMBRADO DE TÚNELES .....	11
5.1	<i>REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN EN TÚNELES .....</i>	11

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR ACTUACIONES EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	GUÍA-EA-ANEXO III
		Edición: mayo 2013 Revisión: 1

*En una primera parte se expone la influencia del alumbrado vial sobre los accidentes, considerando la capacidad visual nocturna de los conductores de los vehículos, así como los efectos de la edad en la visión, para proseguir con las recomendaciones para la selección de tramos de carretera a iluminar.*

*En la segunda parte se abordan las actuaciones en materia de mejora de la eficiencia energética mediante la reducción de los niveles de iluminación en carretera, detallando los niveles mínimos de iluminación admisibles en función de una probabilidad de visión suficiente. Igualmente se señalan las actuaciones recomendables para el apagado del alumbrado en tramos de carreteras.*

*Por último se especifican las medidas de ahorro energético en alumbrado de túneles.*

## **1 INFLUENCIA DEL ALUMBRADO VIAL SOBRE LOS ACCIDENTES**

*Los primeros estudios relativos a la influencia del alumbrado de las carreteras sobre el número de accidentes nocturnos se llevó a cabo en Gran Bretaña en los años 50 del siglo pasado por el "Transport and Road Research Laboratory". En sus conclusiones se afirmaba que el número de accidentes con víctimas mortales y heridos graves podría reducirse alrededor de un 30% debido a la instalación de alumbrado en la carretera.*

*Desde entonces se han efectuado numerosos análisis similares en distintos países obteniendo resultados semejantes.*

*El Ministerio Belga de Trabajos Públicos realizó diferentes investigaciones, en una de los cuales en 1973, se analizaban los accidentes sobrevenidos en 1125 Km. de carreteras nacionales, deduciéndose que el riesgo de accidentes era 1,6 veces mayor por la noche que durante el día, con mayor número de víctimas mortales y heridos graves asimismo por la noche.*

*Debido a la crisis energética el Gobierno Belga en 1981 adoptó medidas económicas, la primera de ellas a partir del 1 de agosto, que consistió en apagar las instalaciones de alumbrado en las autovías desde las 0h 30m hasta las 5h 30m. La segunda medida implantada, también desde el 1 de agosto de 1981, se concretó en reducir a la mitad (1cd/m<sup>2</sup>) la luminancia de las calzadas de las autovías, igualmente desde las 0h 30m hasta las 5h 30m, pero manteniendo la uniformidad.*

*Posteriormente se procedió a analizar los accidentes acaecidos durante los 12 meses anteriores al 1 de agosto de 1981, así como en el transcurso de los 12 meses posteriores a dicha fecha, en la que estaban en vigor las referidas medidas económicas.*

*Las actuaciones tuvieron lugar en un total de 1110 Km de autovías, correspondiendo 600 Km a la primera medida (apagado de la instalación), 355 Km a la segunda (reducción del nivel de luminancia) y 155 Km a tramos de autovías en los que se dejó en funcionamiento el 100% de las instalaciones de alumbrado sin disminuir los niveles de iluminación, que sirvieron de base para los estudios comparativos.*

*El total de accidentes con víctimas mortales y lesiones estudiados ascendió a 3307. Los exhaustivos análisis realizados dieron lugar a los siguientes resultados:*

<i>Causas de los accidentes</i>	<i>Aumento de la siniestralidad</i>
<i>Apagado del alumbrado</i>	
- Accidentes	63,0%
- Víctimas mortales	38,5%
- Heridos graves	108,0%
<i>Reducción del nivel de luminancia</i>	
- Accidentes	23,9%
- Víctimas mortales	10,0%
- Heridos graves	98,6%

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR ACTUACIONES EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	GUÍA-EA-ANEXO III
		Edición: mayo 2013 Revisión: 1

*De la lectura de las cifras consignadas en la tabla anterior, cabe afirmar la importancia del alumbrado de los tramos de autovías y carreteras, así como del mantenimiento de sus niveles de iluminación, en la minoración de los accidentes, víctimas mortales y heridos graves.*

*Pasada la crisis energética se volvió a restablecer el servicio de alumbrado de las autovías belgas al estado inicial.*

*Según la Comisión Internacional de Iluminación en su Publicación CIE nº 180 de 2007, de noche en tramos de carretera no iluminados, el porcentaje de víctimas mortales por accidentes de circulación se multiplica por 3 respecto a los fallecidos en tramos de carretera equipados con alumbrado vial.*

*En la Publicación CIE nº 93 se manifiesta que ha quedado demostrado que el alumbrado de carreteras reduce los accidentes en una media, al menos, de un 30% durante la noche.*

*En España, según datos estadísticos actualizados de la Dirección General de Tráfico, la media de accidentes de circulación es de un 47% en carretera y un 53% en zona urbana, mientras que los fallecidos por accidente en carretera asciende a un 82% y en zona urbana a un 18%.*

*En nuestro país, con un tráfico medio nocturno de vehículos de alrededor de un 25%, el número de muertos por accidentes en carretera producidos durante la noche asciende a un valor medio del 46%, cifras similares a los de la Unión Europea, es decir, con una cuarta parte de vehículos circulando por la noche, existen prácticamente tantos accidentes mortales por el día que nocturnos.*

*Sin olvidar otros factores individuales como el consumo de alcohol, drogas, etc., en la incidencia de los accidentes, las tasas tan altas de accidentes nocturnos tienen su origen en la propia oscuridad, ya que las capacidades visuales de los conductores de los vehículos son modificadas perjudicialmente debido a los mínimos o nulos niveles luminosos existentes y, por tanto, la visibilidad queda muy restringida por la noche.*

### **1.1 Capacidad Visual Nocturna**

*El alumbrado mejora considerablemente las prestaciones visuales. En efecto, aun cuando la visión es capaz de funcionar entre límites muy amplios (desde la luz solar hasta la proporcionada por un claro de luna), la visión humana diurna y nocturna tienen características y prestaciones muy diferentes.*

*La visión diurna o fotópica, asegurada por las células fotosensibles del centro de la retina - los conos – en su triple variedad de azules, verdes y rojos, cuyo funcionamiento se inicia a partir de 3 ó 4 cd/m<sup>2</sup>, se caracteriza por una gran nitidez, una elevada velocidad en la distinción de contrastes, así como por una clara percepción de los colores.*

*Los - bastones – fotorreceptores situados en la periferia de la retina, garantizan la visión nocturna o escotópica, cuyo intervalo de funcionamiento está comprendido entre 10<sup>-6</sup> y 10<sup>-3</sup> cd/m<sup>2</sup> y que tiene unas características muy distintas a la diurna, con una alta sensibilidad a las sensaciones luminosas, débil nitidez, baja velocidad en la diferenciación de los contrastes y no apreciación de los colores.*

*En los periodos del alba y del crepúsculo, pero sobre todo en las condiciones en las que se efectúa la conducción de un vehículo por la noche con la iluminación suministrada por los faros del mismo (luces de cruce y carretera) y, en su caso, en carreteras dotadas de alumbrado vial, interviene un tercer tipo de visión denominada mesópica, con un intervalo de funcionamiento entre 10<sup>-3</sup> y 3 ó 4 cd/m<sup>2</sup>, cuyas peculiaridades son muy próximas a las de la visión nocturna.*

*Por tanto, el automovilista que conduce por la noche tiene una visión muy reducida, con prestaciones visuales sensiblemente limitadas que pueden dar lugar a graves consecuencias, dado que la conducción del vehículo depende en una buena parte de la calidad de las informaciones visuales recibidas por el conductor.*

*Cuando la visión se efectúa bajo débiles luminancias, durante la conducción nocturna de vehículos, tal y como se ha indicado, las prestaciones visuales presentan unas especiales características, como es la reducción de la agudeza visual, disminución de la sensibilidad diferencial al contraste, con alteración*

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR ACTUACIONES EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	GUÍA-EA-ANEXO III
		Edición: mayo 2013 Revisión: 1

*importante en la evaluación de distancias, percepción limitada de obstáculos laterales y visión cromática rara e insólita, prácticamente inexistente.*

*Para un conductor de 25 años con la vista normal la agudeza visual, que permite la visión detallada tanto de cerca como de lejos, es de 10/10<sup>e</sup>. El alumbrado de las luces de cruce de un vehículo proporciona una luminancia del orden de 0,2 – 0,3 cd/m<sup>2</sup>, que hace descender la agudeza visual del conductor a 3/10<sup>e</sup>, equivalente a la de una persona de 80 años con luz diurna, por lo que disminuye la sensibilidad diferencial al contraste, estrecha el campo visual y altera la percepción de distancias, para remontar a 7,5/10<sup>e</sup> con un buen alumbrado vial, volviendo prácticamente a la normalidad la percepción de distancias.*

*Sobre la agudeza visual inciden negativamente tanto los errores de refracción del ojo como las ametropías (hipermetropía, miopía y astigmatismo).*

*La sensibilidad diferencial al contraste, que es la propiedad del ojo que permite reconocer un objeto sobre un fondo que difiere poco del mismo, como sucede en la conducción nocturna, es más de 3 veces superior en una carretera dotada de alumbrado (2cd/m<sup>2</sup>), que solamente con la iluminación proporcionada con la luz de cruce del vehículo (0,2 – 0,3 cd/m<sup>2</sup>).*

*Además, en la conducción nocturna con las luces de cruce del vehículo la eficacia de la visión binocular, que permite la visión de los objetos en tres dimensiones (visión estereoscópica), queda reducida a un tercio (1/3) de la que se alcanza durante el día, por lo que la apreciación y evaluación de distancias por parte del conductor es peligrosamente falseada en tramos de carretera que carecen de alumbrado vial, de modo que los vehículos que circulan en dirección contraria se encuentran bastante más cerca de lo que el conductor cree percibir, con el elevado riesgo de accidente que ello conlleva.*

*La adaptación del ojo a la iluminación del entorno se consigue mediante la contracción y dilatación de la pupila en función de la intensidad de la luz existente, y es lenta durante el día en la entrada de los túneles al pasar de las altas luminancias exteriores a las bajas del interior.*

*La adaptación a la oscuridad es muy importante en la conducción nocturna, que suele agravarse en el caso de miopía nocturna causada por el cristalino, que en la oscuridad adopta una posición de reposo diferente a la que toma en visión diurna.*

*También debe considerarse la presbicia nocturna, consistente en un descenso notable de la amplitud de acomodación o puesta a punto automática de la imagen óptica sobre la retina, a medida que se acerca o aleja un objeto, que puede llegar a ser la mitad de su valor en visión diurna cuando la luminancia sólo es de 0,2 cd/m<sup>2</sup> (nivel proporcionado por la luz de cruce de un vehículo), sin olvidar el caso de los miopes ligeros (1 a 1,5 dioptrías) no corregidos, que por la noche ven considerablemente aumentado su defecto.*

## **1.2 Efectos de la Edad en la Visión**

*Tal y como especifica la Publicación CIE nº 115 de 2010 la capacidad visual disminuye con la edad debido, en primer término a que la transmisión del medio ocular decrece considerablemente en el transcurso de los años; por ejemplo, a los 70 años es sólo al 28% de la que se tiene a los 25 años.*

*En segundo lugar, la luz dispersada en el medio ocular igualmente aumenta con la edad, lo que produce la reducción del contraste de los objetos observados de manera que, por ejemplo, una persona de 70 años tiene un promedio de 2,2 veces más luz dispersa que una persona de 25 años.*

*Como consecuencia de estos dos efectos referenciados, una persona de edad necesita un mayor umbral de contraste para la percepción del objeto; de esta forma un observador de 70 años precisa 3 veces más del contraste en el umbral de visibilidad que un observador de 25 años.*

*Asimismo, como consecuencia del incremento de la luz dispersa en los medios oculares, las personas mayores son más susceptibles y les afecta en mayor grado el deslumbramiento perturbador (incremento de umbral TI).*

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR ACTUACIONES EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	GUÍA-EA-ANEXO III
		Edición: mayo 2013 Revisión: 1

*Además, la amplitud de acomodación igualmente se acorta con los años, debido fundamentalmente a la esclerosis del cristalino.*

## **2 RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DE TRAMOS DE CARRETERAS A ILUMINAR**

*Los faros de los vehículos funcionan por la noche como indicadores visuales, pero su eficiencia decae cuando aumentan la velocidad, el número de vehículos que circulan (IMD) o la complejidad de las escenas nocturnas.*

*Respecto a las prestaciones de los faros de los vehículos conviene tener en cuenta que durante los primeros 40 metros, la iluminación proporcionada por las luces de cruce y de carretera de un vehículo es prácticamente la misma. Más allá de los 60 metros las luces de cruce del vehículo no tienen eficacia.*

*A partir de 60 m el alumbrado público facilita una iluminación superior a la de la luz de carretera del vehículo, que también pierde su efectividad a partir de 100 metros de distancia.*

*A una velocidad de 120 Km./h. la distancia para poder detener un vehículo (distancia de parada) es de 150 m., lo que implica más de 80 metros que permanecen invisibles los obstáculos para el conductor de un vehículo que circula a dicha velocidad con las luces de cruce.*

*La distancia de parada resulta permanentemente de 2 a 3 veces superior a la distancia de visibilidad proporcionada por las luces de cruce de un vehículo, lo cual implica un grave riesgo.*

*El alumbrado viario de un tramo de carretera, que restablece el campo visual tridimensional permitiendo una buena evaluación de las distancias, asegura una visibilidad continua sobre una distancia 3 ó 4 veces superior a la de parada del vehículo.*

*Debe tenerse en cuenta que los niveles de iluminación alcanzados con las instalaciones de alumbrado vial, oscilan entre 5 y 10 veces la magnitud de los niveles luminosos conseguidos con las luces de cruce de los vehículos.*

*En un tramo de la carretera iluminado ante la presencia de un obstáculo, por ejemplo, un camión parado en el arcén, el conductor de un vehículo inicia la maniobra de desvío del orden de 200 a 250 metros antes, que en un tramo de carretera que carece de alumbrado vial.*

*De conformidad con la Publicación CIE nº 115 de 2010, las cuestiones que deben considerarse cuando se plantea la iluminación de un tramo de carretera son las siguientes:*

- *Evaluar la necesidad del alumbrado del referido tramo de carretera teniendo en cuenta el volumen de tráfico (IMD) y su velocidad.*
- *Estimar los ahorros de los costes de utilización de dicho tramo de carretera que se logran por los beneficios de su iluminación, cuyo cálculo se basa en la tasa de víctimas mortales y en el promedio de lesiones (heridos graves). En autopistas y autovías también pueden considerarse los ahorros obtenidos en el tiempo que se tarda en realizar el recorrido.*

*El coste de cada víctima mortal y herido muy grave por accidente de tráfico, puede evaluarse aproximadamente en 3 millones de euros en los estudios de accidentalidad.*

*A la vista de lo anterior, de los criterios de la Comisión Internacional de Iluminación y de acuerdo con las vigentes Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras y Túneles del Ministerio de Fomento, así como de conformidad con la Publicación CIE nº 115 de 2010, se aconseja llevar a cabo una selección entre los posibles tramos de carretera a iluminar al objeto de fijar cuáles de ellos deben ser dotados de alumbrado, lo que exige el establecimiento de factores y criterios que ayuden a determinar la implantación de dichas instalaciones.*

*Los factores que se recomiendan pueden adoptarse para la implantación de alumbrado exterior y que figuran en las referidas Recomendaciones, son los siguientes:*

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR ACTUACIONES EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	GUÍA-EA-ANEXO III
		Edición: mayo 2013 Revisión: 1

1. Tipo de Vía: Autopista, autovía, vía rápida o carretera convencional, su situación y trazado.
2. Zonas especiales de viales : enlaces e intersecciones, glorietas y rotondas, zonas de reducción del número de carriles o disminución del ancho de la calzada, curvas y viales sinuosos en pendientes, zonas de incorporación de nuevos carriles o pasos inferiores.
3. Intensidad de tráfico.
4. Velocidad.
5. Composición del tráfico.
6. Tiempo de utilización de las luces de cruce.

Una intensidad de circulación de 2000 veh/h/c (vehículos/hora/carril) en una autopista, autovía o carretera desdoblada, constituye un límite inmediatamente anterior a que dicha vía llegue a colapsarse. Si se considera un cómputo diario de 15 horas, dicha intensidad circulatoria asciende a 30.000 veh/día/carril.

En Francia se iluminan los tramos rectos de autopistas cuando la IMD alcanza 50.000 veh/día, es decir, 12.500 veh/día/carril, del orden de un 42% del límite de la capacidad de la vía.

A título informativo es de señalar que en una ciudad, una vía de tráfico con una intensidad de 10.000 veh/día/carril, supone el límite en el que se paraliza por congestión la circulación de vehículos.

Para la instalación de alumbrado en tramos de carreteras también deben considerarse los supuestos en los que, debido a la intensidad de tráfico, únicamente pueden utilizarse las luces cortas o de cruce de un vehículo en un alto porcentaje de tiempo.

Por tanto, cuando en un determinado tramo de carretera, los vehículos debido a la intensidad de tráfico (IMD) deban utilizar solamente la luz de cruce durante un tiempo elevado, se aconseja dotar a dicho tramo de carretera de alumbrado viario.

En las Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras y Túneles del Ministerio de Fomento, como criterio meramente orientativo para decidir la iluminación de un tramo de una carretera, se consignan unos valores límites mínimos de intensidad media diaria (IMD).

Asimismo, en el caso en el que la relación entre el número de accidentes nocturnos y diurnos sea de 2 en trayectos rectos y de 1,5 en intersecciones y enlaces, se recomienda dotar de alumbrado viario a dichos tramos de carretera.

### Autovías y Carreteras Desdobladas

Con carácter general se estima deben iluminarse, al menos, los tramos rectos en campo abierto de aquellas autovías o carreteras desdobladas con IMD > 50.000 veh/día, tal y como está establecido en Francia, o bien aquellos con IMD > 37.500 veh/día, en zonas en las que el promedio de días con lluvia sea superior a 120 días al año.

### Puntos Singulares

Debido a los problemas específicos de visión también se recomienda dotar de alumbrado los puntos singulares, tales como enlaces e intersecciones, glorietas, zonas de reducción del número de carriles o disminución del ancho de la calzada, curvas pronunciadas y viales sinuosos en pendiente, zonas de incorporación de nuevos carriles o pasos inferiores.

### Carreteras Convencionales

Es de señalar que, según estadísticas recientes de la Dirección General de Tráfico el 77% de los accidentes mortales tuvieron lugar en éste tipo de carreteras convencionales, frente a un 23% en autopistas, autovías y carreteras desdobladas.

Resulta necesario iluminar los tramos de carreteras convencionales, especialmente los de 2 carriles, uno en cada sentido de circulación, considerados peligrosos por falta de alumbrado, es decir, aquellos donde

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR ACTUACIONES EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	GUÍA-EA-ANEXO III
		Edición: mayo 2013 Revisión: 1

la circulación de vehículos tiene tal intensidad de tráfico que impide prácticamente la utilización de las luces largas o de carretera de los vehículos.

Una situación de este género existe en tramos de carreteras convencionales con una IMD > 20.000 veh/día, o bien en aquellos tramos con IMD > 15.000 veh/día en zonas en las que el promedio de días con lluvia sea superior a 120 días al año, cifras aunque más elevadas que los 10.000 veh/día establecidos en Francia y 6.000 veh/día en Bélgica, se consideran menos restrictivas y más asumibles.

### Zonas Urbanas y Periurbanas

Las zonas urbanas, periurbanas, entradas y travesías de poblaciones, deben iluminarse adecuadamente una vez efectuados los análisis y estudios técnicos que se requieran, dado que se trata de zonas proclives a los accidentes por la composición (vehículos pesados, ligeros, motocicletas, bicis, etc.) e intensidades de tráfico, existencia de circulación de peatones, etc.

## **3 REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN EN CARRETERAS**

A la hora de adoptar medidas de ahorro energético, como la reducción de los niveles de iluminación e incluso el apagado de dichas instalaciones en determinados tramos, hay que tener presente que la totalidad del alumbrado exterior supone en España un 1,35% del consumo total de energía eléctrica, correspondiendo al alumbrado de autovías y carreteras a lo sumo un 0,40%.

En la norma europea EN 13.201 "Iluminación de Carreteras" y que actualmente es la UNE-EN 13.201, en el caso de autopistas, autovías y carreteras desdobladas con  $\geq 15.000$  veh/día y carreteras convencionales con  $\text{IMD} \geq 15.000$  veh/día, el valor mínimo que debe alcanzar la luminancia media es de  $2 \text{ cd/m}^2$  y el mínimo de uniformidad global  $U_0 = 0,4$ .

Los niveles establecidos en la mencionada norma europea EN 13.200 se fijaron después de múltiples trabajos, experiencias prácticas y estudios de investigación desarrollados en la Comisión Internacional de Iluminación en la entonces Comunidad Económica Europea entre otros, por W.J.M. Van Bommel y J.B. de Boer "Road Lighting", relativos al concepto de "poder revelador" (revealing power RP) o "probabilidad de visión".

Los valores de la norma europea EN 13.201 se adoptaron en el vigente Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior, aprobado por Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, con la particularidad de que los niveles mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de luminancias e iluminancias medias en la calzada dispuesto en la citada norma Europea, son valores de referencia en dicho Reglamento, de forma que los niveles máximos de luminancia o de iluminancia medias no podrán superar en más de un 20% los niveles medios de referencia consignados en la ITC-EA-02, a efectos de la eficiencia energética de las instalaciones. También el deslumbramiento perturbador TI y la relación entorno SR son valores de referencia.

Por el contrario, el mencionado Reglamento aprobado por Real Decreto 1890/2008, establece los niveles mínimos de uniformidad de la norma EN 13.201, como valores exigibles de obligado cumplimiento.

### **3.1 Probabilidad de Visión**

La "probabilidad de visión" RP se define como el porcentaje de objetos, con una reflectancia similar a la de la ropa de los peatones, situados en diversos puntos entre 60 y 160 metros delante del observador (campo de visión de un conductor de vehículo), de una calzada dotada de alumbrado viario con distintos niveles de iluminación (luminancia e iluminancia media y uniformidades mínimas, así como valores máximos de deslumbramiento perturbador), que pueden ser vistos o percibidos por una serie de observadores.

La "probabilidad de visión" o "poder revelador" RP es función de tres parámetros luminotécnicos: la luminancia media de la superficie de la calzada ( $L_m$ ), la uniformidad global ( $U_0$ ) de dicha luminancia y el deslumbramiento perturbador (TI) o incremento umbral.

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR ACTUACIONES EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	GUÍA-EA-ANEXO III
		Edición: mayo 2013 Revisión: 1

*Es importante tener presente que la influencia del nivel de luminancia media de la calzada sobre la "probabilidad de visión" no es lineal.*

*Para calzadas iluminadas con uniformidades mínimas globales  $U_o = 0,4$  (adecuada) y  $U_o = 0,2$  (deficiente) y, en ambos casos, con deslumbramiento perturbador máximo  $TI = 7\%$ , calificado como idóneo, la evolución de la "probabilidad de visión" o "poder revelador"  $RP$  con los niveles de luminancia media  $L_m$ , es la siguiente:*

$U_o = 0,4; TI = 7\%$		$U_o = 0,2; TI = 7\%$	
$L_m$	$RP$	$L_m$	$RP$
2,00 cd/m <sup>2</sup>	85%	2,00 cd/m <sup>2</sup>	60%
1,50 cd/m <sup>2</sup>	81%	1,50 cd/m <sup>2</sup>	18%
1,00 cd/m <sup>2</sup>	70%	1,00 cd/m <sup>2</sup>	7%
0,75 cd/m <sup>2</sup>	20%	0,75 cd/m <sup>2</sup>	4%
0,50 cd/m <sup>2</sup>	7%	0,50 cd/m <sup>2</sup>	2%

*Del cuadro anterior cabe deducir que cuanto más elevados son la luminancia media ( $L_m$ ) y la uniformidad global ( $U_o$ ), mayor es la "probabilidad de visión"  $RP$ .*

*En el caso de una instalación de alumbrado viario con una adecuada uniformidad global mínima  $U_o = 0,4$  y un idóneo deslumbramiento perturbador máximo  $TI = 7\%$ , al disminuir la luminancia media de la calzada de 2 cd/m<sup>2</sup> a la mitad, es decir, a 1 cd/m<sup>2</sup>, manteniendo la uniformidad, la "probabilidad de visión"  $RP$  baja un 15%. En cambio con idéntica uniformidad y un nivel de luminancia media de la calzada  $L_m = 0,75$  cd/m<sup>2</sup>, se produce una caída enorme de un 65% respecto al origen ( $L_m = 2$  cd/m<sup>2</sup>) en la "probabilidad de visión" o "poder revelador"  $RP$ .*

*En el supuesto de una iluminación viaria con una deficiente uniformidad global mínima  $U_o = 0,2$  e idéntico idóneo deslumbramiento perturbador máximo  $TI = 7\%$ , con una luminancia media de la calzada  $L_m = 2$  cd/m<sup>2</sup>, la "probabilidad de visión" es solamente  $RP = 60\%$ . Con la misma uniformidad y un nivel de luminancia medio de la calzada  $L_m = 1,50$  cd/m<sup>2</sup> dicha "probabilidad de visión" alcanza solamente el valor  $RP = 18\%$  y, finalmente, manteniendo la uniformidad el "poder revelador"  $RP = 7\%$  (valor ínfimo) corresponde a una luminancia media de la calzada  $L_m = 1,00$  cd/m<sup>2</sup>.*

*Por tanto, si reduciendo el mismo porcentaje el flujo luminoso emitido por todas las lámparas de la instalación de alumbrado vial, es decir, manteniendo la uniformidad, disminuyen los niveles de luminancia media de la calzada, la "probabilidad de visión" desciende pudiéndose admitir como máximo un nivel mínimo de luminancia media  $L_m = 1$  cd/m<sup>2</sup>, que con una uniformidad global mínima  $U_o = 0,4$  y un deslumbramiento perturbador máximo  $TI = 7\%$  proporciona una "probabilidad de visión"  $RP = 70\%$ .*

*Cuando se disminuyen los niveles de luminancia media de la calzada desconectando lámparas al tresbolillo, dos de cada tres u otros sistemas de apagados parciales, se viene abajo la uniformidad global mínima pasando en el primer caso de  $U_o = 0,4$  a  $U_o = 0,2$  y la "probabilidad de visión" prácticamente desaparece, ya que para un nivel  $L_m = 1$  cd/m<sup>2</sup>,  $RP = 7\%$ .*

*También desciende considerablemente la uniformidad global  $U_o$  de una instalación de alumbrado viario cuando, debido a causas naturales (lluvia), la calzada está mojada. De ahí que en las zonas en las que el promedio de días con lluvia sea superior a 120 días al año, se exija menor intensidad media diaria de vehículos IMD para mantener iluminados los tramos de autovías y carreteras desdobladas y convencionales, con unos niveles de luminancia media de la calzada suficientes y superiores a los requeridos para calzadas secas.*

*Por último, el deslumbramiento perturbador o incremento del umbral  $TI$  debe limitarse, tal y como establece la norma europea EN 13201, ya que la evolución de la "probabilidad de visión"  $RP$  en función del nivel de luminancia media ( $L_m$ ) en una instalación de alumbrado viario con una adecuada uniformidad global mínima  $U_o = 0,4$  y un alto deslumbramiento  $TI = 30\%$  es la siguiente:*

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR ACTUACIONES EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	GUÍA-EA-ANEXO III
		Edición: mayo 2013 Revisión: 1

$U_o = 0,4; TI = 30\%$	
$L_m$	RP
2,00 cd/m <sup>2</sup>	72%
1,50 cd/m <sup>2</sup>	63%
1,00 cd/m <sup>2</sup>	30%
0,75 cd/m <sup>2</sup>	8%
0,50 cd/m <sup>2</sup>	5%

El efecto negativo de un elevado deslumbramiento perturbador  $TI = 30\%$  en una instalación de alumbrado viario con una adecuada uniformidad global mínima  $U_o = 0,4$  es importante, dado que para un nivel de luminancia media de la calzada  $L_m = 1 \text{ cd/m}^2$  con un deslumbramiento limitado  $TI = 7\%$ , el "poder revelador" es  $RP = 70\%$ , mientras que para idéntica luminancia media de la calzada  $L_m = 1 \text{ cd/m}^2$  e igual uniformidad, cuando el deslumbramiento perturbador es elevado  $TI = 30\%$  la "probabilidad de visión" solamente es  $RP = 30\%$ .

Por ejemplo si se considera que la carretera con mediana y puntos de luz de doble luminaria, tiene una luminancia media  $L_m = 2 \text{ cd/m}^2$ , una uniformidad global mínima  $U_o = 0,4$  y un deslumbramiento perturbador máximo  $TI = 7\%$ , si se desconectan permanentemente el 50% de las lámparas en disposición al tresbolillo, la instalación de alumbrado viario pasa tener una luminancia media  $L_m = 1 \text{ cd/m}^2$  con una uniformidad global mínima de  $U_o = 0,2$  y un deslumbramiento perturbador máximo  $TI = 7\%$ , alcanzando la "probabilidad de visión" un valor insignificante  $RP = 7\%$ .

Si además en el horario de 00:00 a 05:00 horas, sobre el resto del 50% de las lámparas que permanecen encendidas actúa el regulador reduciendo el flujo un 50%, la instalación de alumbrado viario se queda con una luminancia media  $L_m = 0,5 \text{ cd/m}^2$ , una uniformidad global mínima  $U_o = 0,2$  y un deslumbramiento perturbador máximo  $TI = 7\%$  con una "probabilidad de visión" en la práctica inexistente del 2%.

### 3.2 Niveles Mínimos de Iluminación Admisibles

Antes de actuar en una instalación de alumbrado viario, se considera deben ejecutarse las mediciones de luminancias e iluminancias medias en las calzadas, así como la comprobación de las correspondientes uniformidades.

Posteriormente se estima conveniente proceder a disminuir los niveles de luminancia e iluminancia medios pero manteniendo las uniformidades, para lo cual se reducirá el mismo porcentaje de flujo en todas las lámparas de la instalación de alumbrado viario, sin que en ningún caso se realice la desconexión de lámparas tanto en disposición al tresbolillo como en cualquier tipo de implantación (unilateral, bilateral, etc.), apagado de 2 de cada 3 puntos de luz, etc., por cuanto ello significa una caída muy importante de la uniformidad por debajo de los valores mínimos admisibles, lo que conculca lo dispuesto en el Reglamento aprobado por Real Decreto 1890/2008, dejando la instalación sin "probabilidad de visión".

En función de la situación del tramo recto de autovía o carretera desdoblada así como carretera convencional con la calzada seca, o en zonas en las que el promedio de días con lluvia sea superior a 120 días al año (calzada mojada), y las intensidades medias diarias IMD, una vez regulada o reducida la iluminación, los niveles mínimos de luminancia e iluminancia medias y de uniformidad global mínima, así como los valores máximos de deslumbramiento perturbador, se considera deberán ser los siguientes:

- $U_o = 0,4$  y  $TI = 7\%$ , nivel mínimo  $L_m = 1 \text{ cd/m}^2$  ( $RP = 70\%$ )
- $U_o = 0,4$  y  $TI = 30\%$ , nivel mínimo  $L_m = 1,5 \text{ cd/m}^2$  ( $RP = 63\%$ )
- $U_o = 0,2$  y  $TI = 7\%$ , nivel mínimo  $L_m = 2 \text{ cd/m}^2$  ( $RP = 60\%$ )

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR ACTUACIONES EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	GUÍA-EA-ANEXO III
		Edición: mayo 2013 Revisión: 1

*En este último caso ( $U_o = 0,2$  y  $TI = 7\%$ ), se incumplen los valores mínimos de uniformidad establecidos en la ITC-EA-02 del Reglamento aprobado por Real Decreto 1890/2008.*

*Por tanto, en tramos de autovías y carreteras cuando se mantenga la uniformidad mínima  $U_o = 0,4$  (condición sine qua non), podrán reducirse los niveles de luminancia e iluminancia media como máximo hasta un 50% de los valores de referencia establecidos en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-02 del mencionado Reglamento aprobado por Real Decreto 1890/2008, siempre que los valores mínimos de luminancia media resultantes de dicha reducción no sean inferiores a  $1 \text{ cd/m}^2$  en tramos rectos y  $1,5 \text{ cd/m}^2$  en enlaces, intersecciones curvas y viales sinuosos en pendiente, o sus valores equivalentes de iluminancia media (aproximadamente 15 y 22,5 lux respectivamente).*

*En los puntos singulares de autovías y carreteras, denominados en el Reglamento aprobado por Real Decreto 1890/2008 como zonas especiales de viales (enlaces, intersecciones, etc.), los niveles de iluminancia media y uniformidad mínima se ajustarán a lo establecido en la tabla 9 de la ITC-EA-02 del aludido Reglamento, de modo que como mínimo la iluminancia media de la calzada se estima deberá ser  $E_m = 30 \text{ lux}$  equivalente a  $2 \text{ cd/m}^2$ , con una mínima uniformidad media de iluminancia  $U_m = 0,4$ .*

#### **4 RECOMENDACIONES PARA EL APAGADO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO DE CARRETERAS**

*El apagado de las instalaciones de alumbrado exterior en tramos rectos de autovías y carreteras situadas en campo abierto, se considera requiere realizar un estudio previo de cada tramo que, entre otros extremos, considere los siguientes parámetros:*

- *Tipo de vía, su situación y trazado*
- *Velocidad*
- *Composición del tráfico*
- *Intensidades medias y horarias de tráfico*
- *Relación entre el número de accidentes nocturnos y diurnos*
- *Accidentalidad en el tramo y en zonas similares sin alumbrado*

*Cuando durante un periodo de tiempo suficiente, al menos 1 año, se compruebe en el tramo recto objeto de dicho estudio, que las intensidades medias y horarias de tráfico son bajas, lo que permite en un elevado porcentaje de tiempo circular a los vehículos con las luces largas o de carretera; que además el número de accidentes nocturnos y diurnos es análogo, la velocidad no es elevada y, por último, que la accidentalidad resulta afín a la de otras zonas similares no iluminadas, se estima en principio podría realizarse transitoriamente el apagado de las instalaciones del citado tramo recto de autovía, carretera desdoblada o convencional situado en campo abierto.*

*De cualquier manera con posterioridad al apagado, se estima necesario efectuar un seguimiento de los accidentes de tráfico nocturnos para, en su caso, persistir en el apagado transitorio o volver a encender las instalaciones de alumbrado viario.*

*Por motivos de seguridad no se recomienda apagar las instalaciones de alumbrado exterior de tramos rectos de autovías, carreteras desdobladas y convencionales situadas en zonas urbanas y periurbanas, así como con independencia de su situación las zonas especiales de viales, tales como enlaces, intersecciones, glorietas, curvas y viales sinuosos en pendiente, zonas de reducción del número de carriles o disminución del ancho de la calzada, tramos de incorporación de nuevos carriles, etc., manteniendo encendidas dichas instalaciones, aun cuando pudiera plantearse restringir los niveles de iluminación en determinadas franjas horarias, sin comprometer la seguridad vial.*

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR ACTUACIONES EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	GUÍA-EA-ANEXO III
		Edición: mayo 2013 Revisión: 1

## 5 MEDIDAS DE AHORRO EN EL ALUMBRADO DE TÚNELES

Respecto al consumo energético en la iluminación de túneles debe considerarse que, mientras en una instalación de alumbrado a cielo abierto la potencia instalada por kilómetro es del orden de 7,5 a 9 Kw, en la iluminación de túneles la potencia instalada varía entre 60 y 85 Kw por kilómetro, es decir, es casi 10 veces mayor.

Al objeto de lograr ahorrar en el consumo de energía eléctrica se considerará la orientación de cada túnel, así como las luminancias de velo atmosférico, de parabrisas y equivalente o de Fry y, en su caso, las medidas adoptadas para disminuir las luminancias ambientales exteriores a la entrada de los túneles, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Prever líneas de árboles o pantallas vegetales que oculten lo más posible el cielo y el horizonte en su lejanía, tapando el sol bajo o rasante sobre el horizonte que resulta muy deslumbrante y, por tanto, perjudicial para la visión de los conductores. Estas disposiciones también presentan, por otra parte, el mismo interés para la zona de salida de los túneles.
- Implantar calzadas oscuras mediante pavimentos asfálticos con agregados sombríos o negros que, en lo posible, conserven dicha oscuridad a lo largo del tiempo.
- Ocultar o enmascarar todos los elementos claros del entorno (fachadas de edificaciones, muros, etc.), que se encuentran en el campo de visión del conductor que se aproxima a la entrada del túnel.

Estas medidas permiten reducir considerablemente los niveles de iluminación de la zona de entrada del túnel, que supone el coste más importante en el consumo de energía eléctrica de la instalación del alumbrado del túnel, ya que cuanto menor es la diferencia entre el nivel de iluminación exterior y el del interior del túnel, menor es la distancia durante la cual tiene que adaptarse la visión del conductor.

Por otra parte, una disminución apreciable del deslumbramiento debido a la visión de la salida del túnel puede lograrse, cuando constructivamente sea posible, modificando el trazado de la salida del túnel mediante una ligera curvatura en los túneles largos. Esta solución permite evitar que los ojos del conductor del vehículo no se sientan atraídos por la visión directa de la salida del túnel, visión que limitaría la percepción de eventuales obstáculos y que además podría dar lugar a que el conductor inconscientemente aumentase la velocidad del vehículo.

Esta propuesta de modificación del trazado de la salida del túnel se debe evitar en los túneles cortos donde la visión de la salida es un factor que mejora la visibilidad.

Asimismo, conviene descartar en la medida de lo posible las orientaciones del túnel Este-Oeste cuando la cubierta del mismo sea reducida, especialmente en el caso de una trinchera cubierta, dado que en este caso resulta prácticamente imposible restablecer la visibilidad de un automovilista que tiene el sol sobre los ojos.

### 5.1 Reducción de los Niveles de Iluminación en Túneles

Sin menoscabo del cumplimiento de los requisitos mínimos de seguridad establecidos en el Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, de forma que la iluminación asegure una visibilidad adecuada, se considera que en la zona interior de los túneles, inicialmente fuera de las zonas de adaptación (umbral y transición a la entrada, así como zona de salida), se pueden reducir los niveles de iluminación del alumbrado normal, es decir, sin considerar el alumbrado de seguridad y la iluminación de emergencia, de acuerdo con la sistemática que seguidamente se expone.

#### Durante el día.

En periodo diurno en la zona interior de los túneles, el nivel de luminancia media en la calzada del alumbrado "base" en la primera subzona (longitud que a la velocidad máxima autorizado es cubierta por un vehículo en 30 segundos), se recomienda sea del 50% del establecido en la tabla 6.7.1 "túneles largos" de la Publicación CIE nº 88 de 2004 sin que, por razones de seguridad, en ningún caso resulte inferior a 3 cd/m<sup>2</sup>, manteniendo siempre la uniformidad.

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR ACTUACIONES EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	GUÍA-EA-ANEXO III
		Edición: mayo 2013 Revisión: 1

*En la segunda subzona que corresponde a la longitud de la zona interior restante, en ciclo diurno el nivel de luminancia media en la calzada del alumbrado "base", se juzga debe ser también el 50% de la que figura en la tabla 6.7.2 "túneles muy largos" de la Publicación CIE nº 88 de 2004, sin que asimismo por motivos de seguridad, en supuesto alguno resulte inferior a 2 cd/m<sup>2</sup>, manteniendo siempre la uniformidad.*

*Cuando se trate de túneles urbanos, en ningún caso el nivel mínimo de luminancia media será inferior a 4 cd/m<sup>2</sup>, manteniendo siempre la uniformidad.*

*En periodo diurno en lo que atañe al alumbrado de la zona de entrada (umbral y transición) de los túneles, podrá reducirse el nivel luminoso al 50% en las condiciones siguientes:*

- Interurbanos bidireccionales

*Cuando su longitud sea igual o inferior a 120 m, a excepción de aquellos en los que se cumpla:*

- o Salida no visible
- o Velocidad > 70 Km/h
- o Tráfico ≤ 2000 veh/día/sentido

- Interurbanos unidireccionales

*Cuando su longitud sea igual o inferior a 150 m, a excepción de aquellos en los que se cumpla:*

- o Salida no visible
- o Velocidad > 70 Km/h
- o Tráfico ≤ 10.000 veh/día/túnel

- Interurbanos de poco tráfico y velocidad reducida

*Cuando su longitud sea igual o inferior a 200 m, a excepción de aquellos en los que se cumpla:*

- o Salida no visible

- Urbanos

*Cuando su longitud sea igual o inferior a 125 m, a excepción de aquellos en los que se cumpla:*

- o Salida no visible

*También pueden reducirse los niveles de iluminación de la zona de entrada (umbral y transición) en periodo diurno, limitando la velocidad de circulación de los vehículos.*

*Cuanto más elevada es la velocidad de un vehículo, mayor resulta la distancia de parada del mismo, de forma que para un conductor situado en la zona anterior a la entrada del túnel (zona de acceso), más larga es la distancia desde la boca del mismo hacia el interior en la que el conductor del vehículo tiene que ver dentro del túnel, lo que supone mayor longitud de la zona umbral a iluminar, dado que dicha longitud es igual a la distancia de parada del vehículo.*

*De acuerdo con las Recomendaciones Relativas al Alumbrado de la Vías Públicas de la Asociación Francesa de Iluminación (AFE) que ha incorporado el método de dimensionamiento del Centro de Estudios de Túneles (CETU), debido a la disminución de la distancia de parada y, por tanto, de la longitud de la zona de umbral del túnel del orden de un 20 a un 25%, cuando se reduce la velocidad de circulación de 90 a 70 Km/h, puede ahorrarse por esta menor longitud con alumbrado de refuerzo, en torno a un 16 – 20% de la potencia instalada en la zona umbral del túnel, con el consiguiente ahorro en el consumo de energía eléctrica.*

*Por una parte, a mayores distancias un obstáculo situado en el interior del túnel subtiende un ángulo más pequeño en el ojo del conductor y, por tanto, es menos visible para el conductor desde la zona de acceso.*

*Por otra parte, la capa de aire entre dicho conductor que se encuentra en la zona de acceso y la entrada del túnel es mayor, lo que significa superiores luminancias atmosféricas de velo y reducción del contraste*

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR ACTUACIONES EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	GUÍA-EA-ANEXO III
		Edición: mayo 2013 Revisión: 1

*del obstáculo y, en consecuencia, también disminución de la visibilidad del mismo. Todo ello exige niveles de iluminación de la zona de umbral más elevados y, en consecuencia, por ambas causas, esta última y la mayor longitud de la zona de umbral a iluminar, superiores costes económicos.*

*En consonancia con las referidas Recomendaciones Relativas al Alumbrado de las Vías Públicas de la Asociación Francesa de Iluminación (AFE), los niveles de iluminación (luminancias) de la zona umbral del túnel ( $L_{th}$ ), disminuyen entre un 25% (sistema de iluminación a contraflujo) y un 45% (sistema de iluminación simétrico), cuando se reduce la velocidad de circulación a la entrada del túnel de 90 a 70 Km/h, con un considerable descenso en la potencia instalada y, por tanto, en el consumo de energía eléctrica.*

#### Durante la noche.

*En el transcurso de la noche si el túnel se encuentra en un tramo de carretera con instalación de alumbrado, los niveles de iluminación en la zona interior se entiende deben ser, al menos, iguales a los de la vía de tráfico de acceso, no excediendo en ningún caso del 20% de dicho valor, recomendándose un nivel de luminancia media en la calzada de 1 cd/m<sup>2</sup>.*

*Si el túnel constituye parte de un tramo de carretera que no está iluminado, en periodo nocturno, la luminancia media de la calzada en la zona interior se considera no debe ser menor de 1 cd/m<sup>2</sup>, con una uniformidad global mínima del 40% y una uniformidad longitudinal, al menos, del 60%.*

*En ciclo nocturno cuando la velocidad de los vehículos sea mayor de 50 Km por hora, se estima debe iluminarse la vía de tráfico posterior a la salida del túnel, en una longitud igual a 2 veces la distancia de parada y como mínimo en un recorrido de 200 metros, con una luminancia media en la calzada superior a 1/3 de la luminancia media nocturna de la calzada en la zona interior del túnel y, como mínimo, 1 cd/m<sup>2</sup>.*

*El deslumbramiento perturbador o incremento de umbral  $T_I$  también se estima debe ser inferior al 15% para las zonas umbral, transición e interior del túnel.*

#### Otras consideraciones.

*También, se debe prestar especial atención a la adecuación de los regímenes de funcionamiento de la iluminación en los túneles a la hora natural, de modo que durante la noche no permanezcan en servicio los regímenes de los días soleados y/o nublados.*

*El control de los encendidos de los regímenes de iluminación en los túneles mediante la utilización de luminancímetros en lugar de células fotoeléctricas, puede llegar a representar un ahorro energético de hasta un 25%.*

*En los túneles se estima debe cuidarse especialmente el mantenimiento de las instalaciones de iluminación, por tanto, se deben comprobar y limpiar los fotómetros de control de las zonas de acceso y umbral del túnel, así como proceder a calibrarlos al menos una vez al año, es decir, realizar un mantenimiento y control sistemático de los mismos. Todo ello con la finalidad de permitir conservar las prestaciones de dichas instalaciones en el transcurso del tiempo, y así garantizar la seguridad exigida por el Real Decreto 635/2006 y la Directiva 2004/54/CE, de 29 de abril.*

*Además del alumbrado normal al que corresponde la reducción en los niveles de iluminación, anteriormente expuesta, de conformidad con el citado Real Decreto 635/2006, el túnel debe disponer también de alumbrado de seguridad para que los usuarios puedan evacuarlo en sus vehículos en el caso de avería en el suministro de energía eléctrica, así como debe contar igualmente con iluminación de emergencia a una altura no superior a 1,5 m, que permita guiar a los usuarios del túnel para abandonarlo a pie con un nivel mínimo de 10 lux y 0,2 cd/m<sup>2</sup>.*