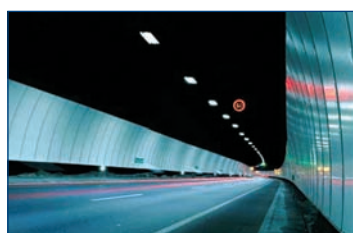


Consideraciones del Comité de Túneles de la ATC sobre el empleo de tecnología led en el alumbrado de túneles



Considerations from the
ATC Committee on Tunnels on
the use of LED technology in tunnel lighting

Comité de Túneles de Carreteras
Asociación Técnica de Carreteras

Resumen

A la hora de decidir si el empleo de luminarias de tecnología led es la solución óptima para la iluminación de un determinado túnel en cuanto a confort visual, optimización energética y coste de instalación y mantenimiento, existen factores adicionales que han de ser tenidos en cuenta: niveles de iluminación realmente alcanzados, tipo de iluminación (simétrica o a contraflujo), necesidades de regulación y reproducción cromática, factor de mantenimiento, vida útil real de todos los elementos, costes financieros, etc. El artículo concluye que, en el momento actual de desarrollo de esta tecnología, el empleo de lámparas de leds es en general óptimo para alcanzar el nivel de iluminación base (nocturno o permanente) de nuevos túneles, si bien sus ventajas para la iluminación de refuerzo en las bocas, con un nivel lumínico muy superior, son más limitadas y requieren un estudio lumínico-económico específico.

PALABRAS CLAVES: túnel, iluminación, eficiencia energética.

Abstract

In deciding whether the use of LED lighting technology is the optimal solution for a given tunnel lighting in terms of visual comfort, energy optimization and cost of installation and maintenance, there are other factors that must be also considered: actually achieved lighting levels, type of lighting (symmetric or counterflow), regulation and color rendition requirements, maintenance factor, real lifespan of all the elements, financial costs, etc.. The article concludes that, at the current development of this technology, the use of LED lamps is generally optimal to achieve the base lighting level (night or permanent level) of new tunnels, although its advantages for lighting reinforcement at tunnel ends, with a much higher lighting level, are more limited and require specific lighting-economic study.

KEY WORDS: tunnel, lighting, energy efficiency.

1. Introducción

El empleo de luminarias de leds en los sistemas de alumbrado público es una tecnología que está de actualidad, que ha empezado a utilizarse en los túneles de carretera, habiéndose planteado en diferentes foros que su empleo podría aportar tanto una mejora en cuanto a la comodidad y seguridad del usuario de la vía como a posibles economías por ahorro de energía eléctrica y mantenimiento.

El presente documento trata de exponer los aspectos que es conveniente analizar antes de decidir si en un determinado túnel es adecuado adoptar el alumbrado con tecnología led y en su caso cuáles son las principales precauciones que se deben tomar en el proyecto e instalación.

También se trata de analizar y comparar la situación actual de la tecnología led con relación a otras utilizadas en el alumbrado de túneles, con el objeto de determinar en qué casos puede ser más interesante adoptar una específica o admitir la coexistencia de diferentes tipos de tecnologías.

La tecnología de led está en constante evolución, con continuos avances en su eficiencia, coste y características, por lo que sería recomendable la revisión periódica del informe.

2. Normativa de referencia

Legislación aplicable al alumbrado de túneles de carretera:

- Real Decreto 187/2011, de 18 de febrero, relativo al establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía;
- Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07;
- Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en túneles de carreteras del Estado;
- Real Decreto 1580/2006, de 22 de diciembre, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos;
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión;
- Real Decreto 154/1995, de 3 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 7/1988, de 8 de enero, sobre exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión.

Principales normas UNE relativas a alumbrado exterior y/o de túneles:

- UNE-EN 62384:2006/A1:2010 & UNE-EN 62384:2007. Dispositivos de control electrónicos alimentados en corriente continua o corriente alterna para módulos LED. Requisitos de funcionamiento;
 - UNE-EN 62031:2009. Módulos LED para alumbrado general. Requisitos de seguridad;
 - UNE-EN 62471:2009. Seguridad fotobiológica de lámparas y de los aparatos que utilizan lámparas;
 - UNE-CR 14380:2007 IN. Aplicaciones de iluminación. Alumbrado de túneles;
 - UNE 1838:2000. Iluminación. Alumbrado de emergencia;
 - UNE-EN 13201. Iluminación de carreteras (serie de normas);
 - UNE-EN 60598. Luminarias (serie de normas);
 - UNE-EN 61347. Dispositivos de control de lámpara (serie de normas).
- Otras guías y recomendaciones de referencia:
- CIE 88:2004. Guía para el alumbrado de túneles de carretera y pasos inferiores;
 - CIE 193:2010. Emergency lighting in road tunnels (no traducida);
- Recomendaciones para iluminación de carreteras y túneles. Ministerio de Fomento. 1999.



Figura 1. ¿Presente y Futuro?

3. Conceptos generales

Se incluye a continuación la definición de los principales parámetros lumínicos necesarios para la correcta comprensión del documento:

Flujo luminoso: Potencia emitida por una fuente luminosa en forma de radiación visible y evaluada según su capacidad de producir sensación luminosa, teniendo en cuenta la variación de la sensibilidad del ojo con la longitud de onda. Su símbolo es (Φ) y su unidad el lumen (lm). Da una idea de la cantidad de luz que emite una fuente de luz en todas las direcciones del espacio.

Intensidad luminosa: Flujo luminoso por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta. Su símbolo es (I) y su unidad básica la candela (cd). La candela se define como la intensidad luminosa de una fuente puntual que emite un flujo luminoso de un lumen en un ángulo sólido de un estereorradián (sr). Según el Sistema Internacional de Unidades, también se define candela como la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz y cuya intensidad energética en dicha dirección es $1/683$ w/sr.

Iluminancia: Flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es (E) y su unidad el lux ($lx = lm/m^2$). Se mide como el cociente entre el flujo luminoso incidente sobre un elemento de la superficie que contiene el punto y el área de ese elemento. Son valores de referencia la iluminancia horizontal y vertical, y dentro de ellas la iluminancia media y mínima del total de la superficie considerada. Se miden con un luxómetro.

Medida del nivel de iluminación: La medida del nivel de iluminación se realiza por medio de un aparato especial denominado luxómetro, que consiste en una célula fotoeléctrica que, al incidir la luz sobre su superficie, genera una débil corriente eléctrica que aumenta en función de la luz incidente.



Figura 2. Luminaria LED.

Luminancia: Intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada por la misma superficie en la dirección del ojo del observador. Su símbolo es (L) y su unidad la candela por metro cuadrado (cd/m^2). Su valor medio en una superficie considerada es la luminancia media. Se mide con un luminancímetro.

Medida de la luminancia: La medida de la luminancia se realiza por medio de un aparato especial llamado luminancímetro o nitómetro. Se basa en dos sistemas ópticos, uno de dirección y otro de medición. El de dirección se orienta de forma que la imagen coincida con el punto a medir, la luz que llega una vez orientado se ve convertida en corriente eléctrica y recogida en lectura analógica o digital, siendo los valores medidos en cd/m^2 .

Uniformidad global: Relación entre el valor mínimo y la media de los valores de una determinada distribución en la superficie de la calzada. Su símbolo es (U_0) y carece de unidades.

Uniformidad longitudinal: Relación entre el valor mínimo y el máximo medidos en el eje longitudinal de los carriles de circulación de una determinada distribución en la superficie de la calzada. Su símbolo es (U_L) y carece de unidades.

Índice de reproducción cromática (IRC): Medida de la capacidad que tiene una fuente luminosa para reproducir fielmente los colores de varios objetos en comparación con una fuente de luz natural o ideal. Las luces con un IRC elevado son necesarias en aplicaciones donde es importante la distinción del color.

Eficacia de la luminaria completa (ϵ_L): Relación entre el flujo luminoso emitido por una luminaria y la potencia total consumida por el equipo

(incluye la lámpara y los equipos auxiliares instalados en la misma). Su unidad es el lumen por vatio ($lm/W = m^2 lx / W$). Si se lograra fabricar una lámpara que transformara sin pérdidas toda la potencia eléctrica consumida en luz a una longitud de onda de 555 nm, esta lámpara tendría el mayor rendimiento posible cuyo valor sería 683 lm/W .

Factor de mantenimiento (fm): Relación entre los valores de iluminancia que se pretenden mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores iniciales. Se compone de cuatro factores:

- FDFL: Factor de depreciación del flujo luminoso de la lámpara respecto al inicial.
- FSL: Factor de supervivencia de la lámpara.
- FDLU: Factor de depreciación de la luminaria.
- FDSR: Factor de depreciación de las superficies del túnel.

Factor de utilización (fu): Relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias. El factor de utilización de la instalación es función del tipo de lámpara, de la distribución de la intensidad luminosa, del rendimiento de las luminarias y de la geometría de la instalación, tanto en lo referente a las características dimensionales de la superficie a iluminar (longitud y anchura) como a la disposición de las luminarias en la instalación del alumbrado (tipo de implantación, altura de las luminarias y separación entre puntos de luz).

Eficiencia energética de una instalación de alumbrado (ϵ): Se define como la relación entre el producto

de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación y la potencia activa total instalada. Se puede determinar mediante el producto de la eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares, el factor de mantenimiento y el factor de utilización.

Índice de eficiencia energética (IE): Cociente entre la eficiencia energética de la instalación (ϵ) y el valor de eficiencia energética de referencia (ϵ_R) en función del nivel de iluminancia media en servicio proyectada y tabulada.

Índice de consumo energético (ICE): Inverso del índice de eficiencia energética que sirve para otorgar la calificación energética en consonancia con lo establecido en otras reglamentaciones.

Luminaria: Aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas de las diversas tecnologías utilizadas en la actualidad, que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de las lámparas y, en la mayor parte de estos aparatos, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión a la red de alimentación. Por ser el objeto del presente documento la tecnología led, se describe a continuación:

- **Luminaria LED:** Luminaria que incorpora la tecnología led como fuente de luz y que determina unas condiciones de funcionamiento, rendimiento y vida propias.
- **LED (Light Emitting Diode):** Diodo compuesto por la superposición de varias capas de material semiconductor que emite luz en una o más longitudes de onda (colores) cuando es polarizado correctamente. Se recuerda que un diodo es un dispositivo electrónico que permite el paso de la corriente en un único sentido y su correspondiente circuito eléctrico que se encapsula en una carcasa plástica, de resina epoxi o cerámica según las

diferentes técnicas.

- **Fuente de alimentación y control electrónico (DRIVER):** Elemento auxiliar básico para regular el sistema led que adecua la energía eléctrica de alimentación a los parámetros exigidos para un correcto funcionamiento del sistema. La vida del DRIVER depende de la temperatura que alcance durante su funcionamiento y de la temperatura ambiente. La eficiencia de la luminaria debe contemplar sus pérdidas.
- **Vida del LED:** Tiempo en el que el led emite el flujo luminoso indicado en la especificación. Depende de la temperatura de funcionamiento y de la corriente de alimentación. Se utilizan dos parámetros para garantizar la vida del led:
 - L70 B50: Indica que transcurridas las horas de vida señaladas, el flujo luminoso será del 70% al menos en el 50% de los leds
 - L70: Indica que transcurridas las horas de vida señaladas, el flujo luminoso será del 70% para el 100% de los leds

Vida de una lámpara: Tiempo total en el que ha estado funcionando una lámpara antes de quedar inservible o ser considerada como tal según criterios especificados.

4. Comparación de la tecnología led frente al resto

Las tecnologías más habituales empleadas en el alumbrado de túneles son las siguientes:

- Vapor de sodio de alta presión VSAP (entre 70 y 150 lm/W, con una vida útil aproximada de 18.000 horas);



Figura 3. Lámpara de vapor de sodio de alta presión, tipo tubular.

- Halogenuros metálicos y vapor de mercurio (entre 36 y 120 lm/W, con una vida útil aproximada de 14.000 horas);



Figura 4. Lámpara de vapor de mercurio con halogenuros metálicos, tipo tubular claro.

- Fluorescentes (entre 50 y 93 lm/W, con una vida útil aproximada de 7.500 a 10.000 horas);

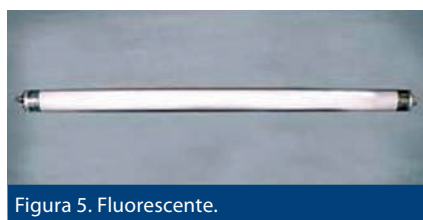


Figura 5. Fluorescente.

- Vapor de sodio de baja presión, que llega a un rendimiento de 200 lm/W, pero debido a que su reproducción cromática es muy baja no suele emplearse en el alumbrado de túneles de carretera.



Figura 6. Lámpara de vapor de sodio de baja presión.

Desde hace poco, debido a los continuos avances tecnológicos en el campo de la electrónica y a la reducción de costes, se han realizado las primeras instalaciones utilizando la tecnología led para el alumbrado base en algunos túneles.

Su eficacia se incrementa cada año, estando actualmente los valores del rendimiento, obtenidos en laboratorio, en el entorno de 100 lm/W. Una de las grandes ventajas es su vida, comprendida entre 80.000 y 100.000 horas de funcionamiento, de las cuales solamente se pueden considerar útiles las primeras 50.000 – 60.000 ho-



Figura 7. Túnel de Somport (VSAP).

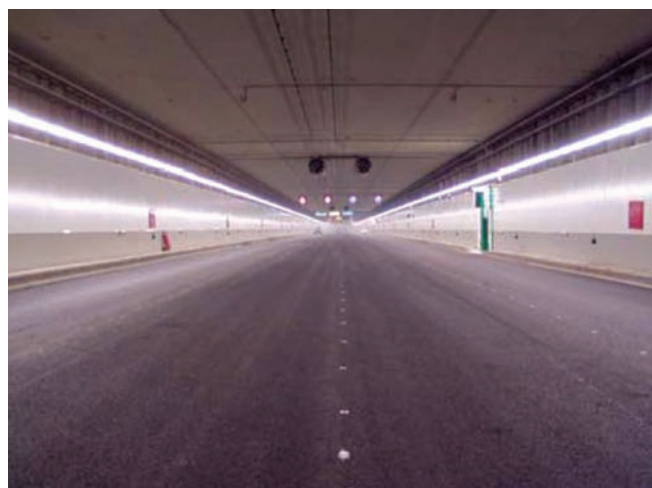


Figura 8. Túnel calle 30 (Fluorescentes).

ras debido a múltiples factores entre los que cabe destacar la temperatura real de funcionamiento. El incremento de su empleo en alumbrado se produjo con la aparición del led blanco que alcanza un alto grado de confort visual y una elevada reproducción cromática.

Las lámparas de VSAP son las que tienen los mayores valores de la relación lm/W, por lo que son las más empleadas en el alumbrado de túneles. Su vida útil media de unas 18.000 horas (más de dos años de funcionamiento continuo), su coste no elevado y las posibilidades reales de reducir su consumo en determinadas condiciones de horario o tráfico, son otros puntos fuertes para su aplicación en el alumbrado de túneles. Su reducida capacidad de reproducción cromática queda compensada normalmente por los elevados niveles de iluminación establecidos para el túnel, por la adecuada percepción de obstáculos por contraste de niveles y por su adecuada penetración en ambientes con polución.

En el caso de que se quiera una mayor calidad cromática y regulación continua del nivel de alumbrado, se suele optar por el empleo de fluorescentes con balastos electrónicos. En los refuerzos de las bocas se suelen utilizar proyectores de halogenuros metálicos por su mayor eficacia.

Actualmente la solución de

alumbrado con leds puede ser adecuada para el alumbrado base o nocturno del túnel pero no para los refuerzos de las bocas, que debido a los elevados niveles requeridos es necesario realizar con lámparas de mayor potencia.

Las principales ventajas que puede presentar la iluminación de túneles con leds (algunas ya han sido indicadas) son las siguientes:

- luz blanca de elevado confort visual y reproducción cromática;
- elevada vida útil;
- adecuada eficiencia energética;
- posibilidad de adoptar el diseño y construcción del proyector a la sección transversal de la calzada y de mejorar la eficiencia energética del conjunto completo, derivada de la característica de luz dirigida y concentrada desde el emisor a la calzada, minimizando las pérdidas en el reflector y en zonas que no se desea iluminar;
- posibilidad de regulación continua del nivel lumínico con respuesta automática (sin retardo).

Los principales inconvenientes a considerar para su aplicación son:

- tecnología novedosa y con pocas instalaciones en funcionamiento, circunstancia que puede dar lugar a ciertas incertidumbres a la hora de valorar exactamente la vida útil y los costes de mantenimiento;
- coste de primera instalación

superior al de otras tecnologías, por lo que es importante analizar el sobre coste y su coste financiero;

- la eficacia lumínica de los leds sigue incrementándose año a año y su coste económico reduciéndose, parámetros que pueden hacer dudar sobre la conveniencia de su instalación en la actualidad o esperar;
- dificultad de valorar la vida real de las lámparas, luminarias y de sus elementos, así como el coste del cambio de lámpara y de los equipos auxiliares al final de su vida útil.

No todas las ventajas de los leds son exclusivas de ellos, sino que normalmente son compartidas con otro tipo de tecnologías, por lo que se recomienda estudiar detalladamente cada caso particular para así obtener la solución idónea y alcanzar el nivel de alumbrado requerido, junto con un adecuado equilibrio entre inversión, financiación y costes de mantenimiento.

En este informe se pretende dar unas pautas para ayudar a analizar adecuadamente las posibilidades de instalación de las distintas tecnologías, tanto desde el punto de vista de la adecuada iluminación inicial y a lo largo de la vida del túnel, como desde el de los costes de inversión y mantenimiento, y acotar las incertidumbres para tomar la decisión óptima en cada caso.



Figura 9. Vlake tunnel. Zeeland. Holanda (Led).



Figura 10. Túnel de Parpers C-60 (Led).

5. Posible adecuación de la normativa para el empleo de leds

El proyecto del alumbrado de túneles con tecnología led requiere cumplir con la normativa actual que, en general, está vigente desde hace algunos años, por lo que se considera necesario o sería adecuado actualizar por la irrupción de los leds en este campo.

La principal cuestión que se plantea en los distintos foros de especialistas es la posibilidad de que la normativa redujera el nivel de alumbrado necesario en el túnel en el caso de emplear luz blanca ya que este tipo de iluminación, al tener mejor reproducción cromática, facilita la visualización de los obstáculos y mejora la seguridad al proporcionar un mayor confort visual. Esta cualidad no es aplicable a los túneles que se iluminen a contraflujo, ya que en este caso los obstáculos se perciben por contraste de los niveles de iluminación del objeto y no de los colores, por lo que no influye significativamente la reproducción cromática obtenida. Cualquier cambio que se produjera en la normativa del nivel de alumbrado sobre la calzada de un túnel con alumbrado simétrico, debería aplicarse también al resto de las tecnologías que tienen luz blanca y consiguen una alta reproducción cromática.

6. Consideraciones generales para el empleo de leds

A continuación se recogen distintos aspectos a considerar a la hora de analizar la posibilidad de instalar alumbrado con leds en un túnel, frente a otras tecnologías.

6. 1. Cálculos lumínicos

De acuerdo con las prescripciones de las distintas normativas de alumbrado de túneles éste se debe calcular mediante su distribución en luminancias (cd/m^2), es decir por los niveles de luz que percibe el conductor. Ello no quita que sea aconsejable realizar simultáneamente los cálculos en iluminancias (lux) ya que es un valor más fácil de medir y verificar.

En el mercado existen diversos programas de cálculo de alumbrado de túneles, cuyos resultados están ampliamente contrastados en campo. Para realizar los cálculos de los niveles de iluminación que se alcanzarían con una y otra tecnología es conveniente emplear el mismo software para ambos, preferentemente alguno de los programas validados por la experiencia, en los que se deben introducir los valores realmente medidos, para cada una de ellas completamente montadas, en laboratorio acreditado. Además para cada una de las tecnologías se deberían realizar los cálculos con diversos proyectores y orientaciones de las

luminarias con el objeto de obtener la solución óptima, tanto desde el punto de vista de la iluminación de la calzada como desde el de la eficiencia energética.

En cualquier tipo de instalación de iluminación con el paso del tiempo se va reduciendo el rendimiento de la misma, lo que se intenta corregir con las distintas tareas de mantenimiento, limpieza y cambio de elementos. Este aspecto se suele considerar en los cálculos mediante la introducción del factor de mantenimiento de la instalación y debe justificarse el valor empleado para cada una de las tecnologías, de acuerdo con las labores de mantenimiento previstas. Este parámetro, cuyo valor se toma habitualmente igual a 0,7, podría incrementarse hasta valores superiores a 0,80 si se realiza un adecuado mantenimiento de la instalación, que prácticamente coincide con el que se debe utilizar con la tecnología led si se desea una vida útil de la instalación elevada, antes de proceder a reemplazar los leds. Un mal uso que se observa en algunas ocasiones es el de beneficiar al led frente al resto de tecnologías, aplicando un FM (Factor de Mantenimiento) de 1 al led y de un valor inferior al resto de tecnologías.

6. 2. Cálculos económicos

En los cálculos económicos de inversión, mantenimiento y consumo

de una y otra tecnología se deben considerar los siguientes factores:

- coste de compra e instalación de las luminarias;
- disponibilidad de financiación y coste de la misma;
- duración de la luminaria y costes de reposición de la misma;
- duración de la lámpara y costes de reposición de la misma;
- tareas de mantenimiento habituales (limpieza, verificación,...);
- riesgos de averías y costes de reparación (balastos, fuentes de alimentación,...);
- coste de la energía, tanto de la potencia contratada como del consumo realizado (se deben tener en cuenta los sistemas de ahorro con que cuenta la instalación y la energía reactiva);
- coste de la instalación de suministro de energía (que normalmente sólo se aplica en túneles nuevos), ya que diferentes potencias instaladas pueden implicar variación del coste de la acometida, del centro de transformación, del tendido de cables,...

Algunos de estos factores son difíciles de medir o predecir, por lo que se recomienda verificar cómo afecta a la valoración global la variación de

los factores que se hayan podido estimar.

La variación de algunos factores puede afectar de manera importante a los cálculos realizados, tanto desde el punto de vista económico, como de iluminación, por lo que se debe evitar que se alteren una vez realizada la instalación. Una forma de acotar estas incertidumbres es solicitar garantías o avales de los parámetros de la instalación sobre los que no se tengan suficientes valores experimentales (duración de la luminaria, duración de la lámpara, duración de la fuente de alimentación,...).

6. 3. Mantenimiento

Si se quieren mantener unos adecuados parámetros de iluminación, cualquier instalación de alumbrado requiere diversas tareas periódicas de mantenimiento (limpieza de luminarias, verificación de los sistemas de regulación de niveles,...), no debiéndose considerar solo la sustitución de elementos que han dejado de funcionar (lámparas, balastos, fuentes de alimentación, equipos de regulación,...).

A la hora de valorar y planificar dichas actividades se debe contar

con la información del fabricante respecto a la vida útil de cada uno de los elementos y a las tareas y coste de sustitución de cada uno de ellos. Una mala costumbre es reemplazar las luminarias y balastos únicamente cuando la luminaria deja de funcionar, lo que en la práctica hace que el nivel de alumbrado de la instalación baje considerablemente y puede repercutir en un mayor consumo eléctrico del necesario. Otra mala práctica es no realizar una limpieza periódica de todas las luminarias.

Debido a la poca experiencia de la tecnología led en los túneles se debe analizar si son necesarias nuevas tareas de mantenimiento así como las posibilidades, coste y duración de los cambios de lámpara, fuente de alimentación y equipos de control.

En los costes de mantenimiento se debe tener en cuenta no sólo el de los repuestos, mano de obra y maquinaria, sino también el de las tareas de corte de carril o calzada y si la actuación puede tener alguna repercusión económica sobre la explotación.

6. 4. Fiabilidad y garantías

Como ya se ha indicado repetidas veces, en lo que a iluminación se refiere, la tecnología led es novedosa en túneles, por lo que se deberá intentar acotar al máximo los distintos valores y factores de importancia que se consideran, tanto para la iluminación como para la viabilidad económica de la instalación a lo largo del tiempo. En este sentido se recomienda, mediante ensayos, mediante valores extraídos de instalaciones similares, lo que en la práctica es muy difícil, o bien mediante las correspondientes garantías o avales, alcanzar la máxima certeza de los siguientes factores:

- consecución de los niveles lumínicos y consumos eléctricos indicados en el proyecto de la instalación;
- vida útil de la luminaria;



Figura 11. Túnel de San Simón A-2 (prueba con led).



Figura 12. Túnel de Crocina. Italia (Led y VSAP).



Figura 13. Túnel de Petralba N-260 (VSAP).

- vida útil de la fuente de alimentación;
- vida útil de los elementos de control del nivel de iluminación;
- vida útil de los leds, en las condiciones específicas de funcionamiento;
- disponibilidad de repuestos y coste del cambio de cada uno de los elementos al transcurrir su vida útil.

6. 5. Características de los equipos y ensayos

Como equipo de iluminación, que forma parte de una instalación de alumbrado público de exterior, todos los elementos instalados deben cumplir las normativas de aplicación y superar los correspondientes ensayos y controles de calidad, de manera que se pueda certificar la seguridad y funcionamiento de la instalación dentro de los parámetros establecidos.

Por tanto todas las luminarias, independientemente de la tecnología seleccionada, deben pasar todos los ensayos y controles de calidad pertinentes, entre los que se destacan, por su directa implicación en el éxito de la instalación realizada, los siguientes:

- durabilidad;
- estanqueidad;
- consumo, con todos los elementos necesarios, en sus diferentes

modos de funcionamiento con diversos niveles;

- valores lumínicos, con todos los elementos necesarios, en sus diferentes modos de funcionamiento;
- temperatura alcanzada durante el funcionamiento por los diversos elementos, en condiciones estándar.

6. 6. Posibilidades de regulación

La mayor parte de los sistemas de iluminación empleados en un túnel permiten variar el flujo lumínico, con la consiguiente variación de consumo de energía. Esta característica permite establecer condiciones de funcionamiento de menor consumo eléctrico en determinados periodos de tiempo en los que el tráfico es muy bajo.

Según la tecnología empleada el sistema de reducción de flujo puede ser más sencillo o complicado, permitir las variaciones de forma continua o escalonada y posibilitar o no su telemando.

El inconveniente de la reducción de flujo con vapor de sodio es que los niveles de regulación son más reducidos que con la tecnología led.

Con luminarias led, la regulación de la luminaria puede gestionarse desde el 0% hasta el 100% de su capacidad lumínica, así como el encendido y apagado del punto de luz

en función de las horas del día y del tráfico.

Los tiempos de encendido de las luminarias de vapor de sodio pueden ser altos, por lo que se puede regular el nivel de iluminación (con posibilidad de variar el flujo lumínico entre un 40% y el 100%) pero no el encendido y apagado automático para periodos de tiempo cortos.

En consecuencia, la regulación de las luminarias led así como su automatización puede suponer un ahorro energético superior a la regulación de la iluminación con vapor de sodio. Por tanto, en todo el análisis entre las diversas tecnologías debe considerarse la automatización de la iluminación del túnel como una prestación adicional a la explotación del mismo y debe introducirse su coste en los cálculos económicos de inversión, mantenimiento y consumo.

7. Conclusiones

De todo lo expuesto se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La tecnología led es una tecnología novedosa en el alumbrado de túneles, por lo que deben acotarse lo máximo posible las incertidumbres derivadas de su aplicación. En este sentido es de especial importancia confirmar que los niveles de iluminación alcanzados en la realidad serán los especificados para el túnel.

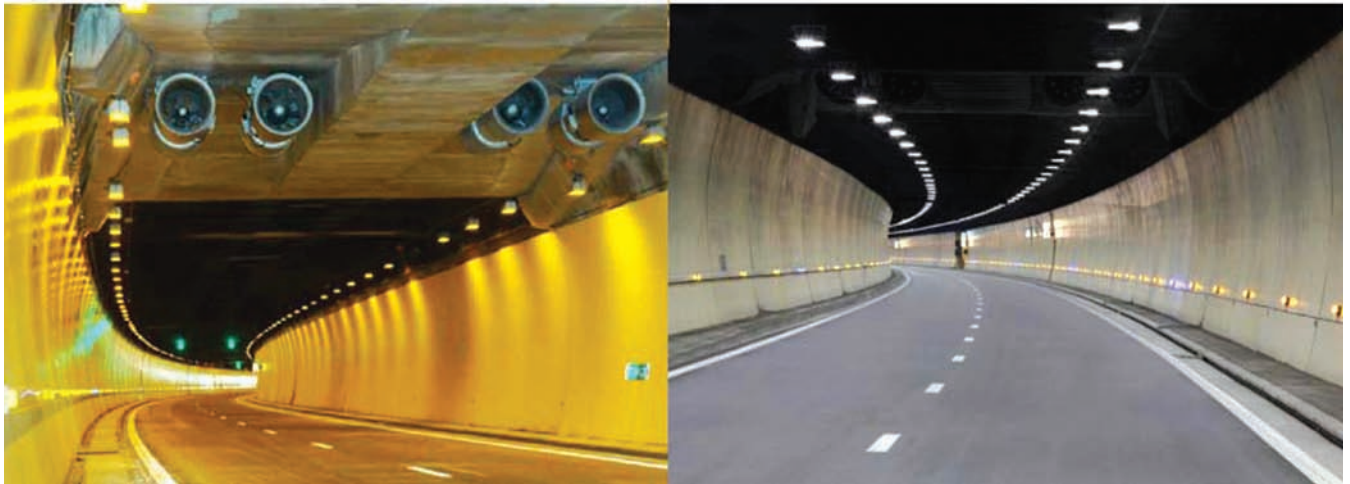


Figura 14. Túnel de San Simón A-2 (prueba con led).

- La posible aplicación de alumbrado mediante leds en un túnel debe decidirse tras un detallado estudio lumínico – económico, que considere todos los factores de comparación de forma homogénea. Deben solicitarse los avales necesarios como garantía del cumplimiento de los niveles lumínicos previstos en proyecto y de la vida útil de los equipos dada por el fabricante.
- El continuo avance tecnológico en los leds y su mayor aplicación en el alumbrado hace que su coste vaya disminuyendo progresivamente, a la vez que se incrementa su eficacia lumínica y mejora la fiabilidad de los equipos.
- El empleo de tecnologías leds supone importantes ventajas en la iluminación de un túnel (elevado confort visual y reproducción cromática, posibilidades de regulación continua, automatización, elevada vida útil,...), algunas de las cuales las comparte con otras tecnologías empleadas desde hace tiempo en el alumbrado de túneles.
- Actualmente puede ser interesante su aplicación en túneles en los que se vaya a realizar una nueva instalación de alumbrado base (también denominado nocturno o permanente). Desde el punto de vista económico, no parece viable la instalación de leds para la realización del alumbrado de

refuerzo de las bocas, ni rentable la sustitución de alumbrados existentes que funcionen adecuadamente, aunque hay otros factores que se deben analizar y que podrían aconsejar su instalación.

- La instalación de alumbrado mediante leds no implica la eliminación del mantenimiento necesario del alumbrado, aunque pueda reducirlo, ya que para mantener unos adecuados niveles de iluminación sigue siendo necesaria la limpieza de las luminarias y la sustitución de los distintos elementos cuando su tiempo de funcionamiento supera su vida útil. También introduce la necesidad de actualizar la formación del personal encargado del mantenimiento y la concreción y garantía por parte del fabricante de la vida útil del conjunto y de cada una de los componentes de la luminaria, para valorar adecuadamente las actuaciones que serán necesarias con la nueva instalación.

8. Equipo de redacción

El presente informe ha sido redactado dentro del Comité de Túneles de la Asociación Técnica de la Carretera por un Grupo de Trabajo constituido en la reunión del 7 de junio de 2011 por los siguientes miembros:

Juan Manuel Sanz Sacristán (Coordinador del grupo), Alberto Abella Suárez, María del Carmen Corral Escribano, Guillermo Llopis Serrano, Álvaro Martín Hernández, Ramón Morera Fauquier, Ángel J. Muñoz Suárez, José Ramón Ochoa Vega, José Manuel Portilla Saiz, Vicente Sebastián Alapont, Enrique Segura Echániz y Enrique Villalonga Bautista.

La revisión final del texto ha sido llevada a cabo por:

María del Carmen Corral Escribano, Ramón Morera Fauquier, Javier Borja López y Rafael López Guarga (Presidente del Comité).

9. Referencias Bibliográficas

- [1] Recomendaciones para iluminación de carreteras y túneles. Ministerio de Fomento. 1999
- [2] Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en túneles de carreteras del Estado
- [3] Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07
- [4] UNE-CR 14380:2007 IN. Aplicaciones de iluminación. Alumbrado de túneles
- [5] CIE 88:2004. Guía para el alumbrado de túneles de carretera y pasos inferiores.❖