



Mejora energética en los túneles de Parpers de la C-60

Energy improvement Parpers tunnels in the C-60

Ramón Morera i Fauquier
Jefe del Servicio de Equipamiento
y Datos Viarios (1994-2010)
Generalitat de Catalunya
Jubilado desde enero de 2011

Luis Bittini
Director Comercial Alliance Ceramic Steel
Enrique Segura Echániz
Jefe del Departamento
de Túneles e ITS AudingIntraesa

Colaboradores (año 2010):
Just Palma i Casals y Rossend Bau i Gelis
Responsable y Jefe de Sala,
respectivamente,
del Centro de Control de Carreteras de Vic

Resumen

En este artículo se trata de explicar la experiencia reciente de iluminar los túneles existentes con Leds. En concreto los túneles de Parpers, teniendo en cuenta que se partió de una iluminación con una uniformidad baja y con 12 años de funcionamiento.

La mejora realizada estaba proyectada inicialmente, incrementando el número y potencia de las lámparas (vapor de sodio de alta presión, VSAP), instaladas en 1995 y montando paneles de acero vitrificado de color blanco en los hastiales.

Posteriormente, una vez adjudicada la obra, se planteó la posibilidad de instalar iluminación Led (*light-emitting diode*, diodos emisores de luz) en lugar de VSAP, en el circuito permanente, manteniendo la instalación de paneles.

En este artículo comparamos la actual instalación, realizada con los Leds, frente a la inversión que se iba a realizar mejorando la iluminación del año 1995, con lámparas de VSAP.

Además en este artículo se han utilizados los precios de adjudicación de las luminarias y las lámparas de VSAP y el contradictorio de lámparas de Leds, negociado con el contratista.

Los datos de iluminancia y uniformidad que figuran en este artículo se han obtenido mediante mediciones reales efectuadas.

PALABRAS CLAVE: túnel, luminancia, uniformidad, VSAP, eficiencia, vapor de sodio de alta presión, panel de acero vitrificado.

Summary

This article attempts to explain the recent experience to illuminate the existing tunnels with LED's, specifically Parpers tunnels, considering that we started from a low uniformity illumination and with 12 years of operation.

The improvement made was initially projected, increasing the number and power of the lamps (high pressure sodium, VSAP), installed in 1995 and mounting steel panels in white glazed gables.

Then, once awarded the work, we raised the possibility of installing LED (*light-emitting diode*) lighting instead of HPS in the permanent circuit, keeping the installation of panels.

In this paper we compare the current installation, made with LED versus the investment was to be done to improve the illumination of 1995, with HPS lamps.

Also in this article we have used the award prices of lamps and HPS lamps and LED lamps contradictory, negotiated with the contractor.

The luminance and uniformity data contained in this article have been obtained by actual measurements made.

KEY WORDS: tunnel, luminance, uniformity, HPS, efficiency, high pressure sodium, enamelsteel panel.

Presentación

El Comité de túneles de la Asociación Técnica de Carreteras viene desarrollando en el presente ciclo 2008 – 2011 una serie de trabajos encaminados a divulgar los conocimientos y recomendaciones que emanan del Comité internacional C4 de la AIPCR, y que, de cara al hoy ya celebrado Congreso Mundial de Carreteras (México, septiembre de 2011), han estado enfocados a la sostenibilidad en el diseño, el mantenimiento y la explotación en términos de consumo de energía y la contaminación atmosférica.

En este marco un tema que preocupa en el Comité nacional es la reducción del consumo energético en la explotación de los túneles de la red de carreteras, por lo que se ha creado un grupo de trabajo específico para abordar dos aspectos que se consideran fundamentales: Alumbrado de túneles con tecnología led y Medidas para reducir el consumo de energía en el alumbrado de túneles, manteniendo su seguridad.

En tanto en cuanto se redactan nuestros puntos de vista, que se espera puedan quedar consensuados para finales de este año, se ha considerado de interés publicar el presente artículo: “Mejora energética en los túneles de Parpers de la C-60”, que demuestra la puesta en práctica de esta inquietud y que se considera puede ser de interés para los distintos agentes que intervienen en la gestión y la explotación de túneles.

Rafael López Guarga

Presidente del Comité nacional de Túneles de la ATC

1. Introducción

En el mes de junio del año 1995 entró en servicio los túneles de Parpers, situados en la carretera C-60, entre los pp.kk. 5+746 y 7+774, siendo el primer tramo construido del cuarto Cinturón de Barcelona y que comunica por autopista las comarcas del Maresme y del Vallés Oriental.

Se trataba de unos túneles gunitados, con paredes sin revestir, de dos tubos unidireccionales, con dos carriles por sentido cada uno y con 5 galerías transversales de evacuación, equiespaciadas 350 m. La longitud de cada uno de los tubos es de unos 2010 m, con una IMDI que en conjunto supera, en la actualidad, los 50 000 vehículos. La gestión de los sistemas y equipamientos de seguridad y control se realiza desde el inicio desde el Centro de Control de Carreteras de Vic [8], situado a unos 60 km de estos túneles.

También existe un local técnico desde el que se pueden gestionar los sistemas y equipamientos de seguridad y control, en el caso de fallo de las comunicaciones.

Para evitar caídas de tensión inaceptables [3] y tener una garantía en el funcionamiento de los sistemas eléctricos, el suministro de energía eléctrica del tramo norte de los túneles es independiente del sur, o sea hay 2 locales: uno en la boca Granollers o boca Norte y el otro en la boca Mataró o boca Sur, en los que se encuentran alojados los dos transformadores de potencia, los cuadros eléctricos generales

de los túneles, los sistemas de suministro de energía complementaria (Grupo Electrónico y SAI - Sistemas de Alimentación Ininterrumpida) y las ERU's. En la galería de evacuación nº 3, se encuentra ubicada una ERU, el sistema DAI (Detección Automática de Incidentes), junto con el sistema CCTV (*Closed-Circuit TeleVision*, televisión en circuito cerrado) y la Central de incendios.

En los años 2007 y 2008 se redactaron las Fases 1ª y 2ª del proyecto “MEJORA DE LA SEGURIDAD DE LOS TÚNELES DE PARPERS. C-60. P.K. 5,740 AL 7,750. ARGENTONA - LA ROCA DEL VALLÉS” [6] y [7], con el objeto de adecuar los equipamientos de seguridad y control a la Directiva 54/2004 y a la Circular 03/05 de la Dirección General de Carreteras de la *Generalitat de Catalunya*, y también para mejorar los niveles de luminancia (*luminance*) y su uniformidad (*uniformity*), con el objeto de incrementar la seguridad y confort de los usuarios de estas infraestructuras.

En los citados proyectos y por lo que corresponde al alumbrado y con el objeto de mejorar los niveles de luminancia (*lu-*



Figura 1. Situación de los Túneles de Parpers y su Centro de Control

minance) y su uniformidad (*uniformity*), se había previsto sustituir cada luminaria del circuito permanente, equipada con una lámpara de VSAP (HPS) de 150 W de potencia (en total 466 unidades), por dos equipadas con una lámpara de VSAP (HPS) de 100 W de potencia (932 unidades), ubicadas en el mismo lugar, con el objeto de no incrementar la longitud de los cables de suministro de energía eléctrica. También se proyectó la instalación de paneles de acero vitrificado de color blanco, por pensar que se mejoraría la uniformidad (*uniformity*) de la iluminación, el confort en la conducción y una facilidad de limpieza, manteniendo el mismo aspecto a lo largo del tiempo.



Figura 2. Vista interior de los Túneles de Parpers

2. Modificaciones al proyecto

Previo al inicio de las obras de la 1ª Fase se analizó la conveniencia y finalmente se adoptó la solución de sustituir cada una de las luminarias previstas en el proyecto, equipadas con una lámpara de VSAP (HPS) de 100 W (2 x 466 unidades), por otras equipadas con LED's de 60 W (2 x 466 unidades) [7], con el objeto de reducir el consumo de energía eléctrica, mejorar la eficiencia (*efficiency*) energética [5], disminuir el impacto ambiental, y a la vez disminuir los costes de mantenimiento y de explotación de los túneles.

3. Tecnología LED

Con esta tecnología y con la nueva instalación se pretendía conseguir:

- Reducir la potencia eléctrica instalada, y por tanto obtener un considerable ahorro energético: el rendimiento lumínico de una lámpara de descarga está entorno al 10% (sólo una décima parte de la energía consumida genera luz), mientras que con los LED se aprovecha

aproximadamente hasta el 90% de la energía consumida, o sea una eficiencia (*efficiency*) energética de unas 10 veces mayor [2].

- Incrementar la vida útil de las lámparas, lo que lleva a otro ahorro en el coste de explotación de los túneles: la vida media de una lámpara de descarga está comprendida entre las 17 000 y 20 000 horas aproximadamente, mientras que la de Led, como mínimo, es de 60 000 horas, es decir unas 3 veces más [2].
- Mejorar la iluminancia (*luminance*) del alumbrado y su uniformidad (*uniformity*), y por tanto mejorar el confort visual y la seguridad del usuario.

4. Influencia panel vitrificado

Los hastiales forman parte del fondo para la detección de obstáculos en el interior de los túneles, contribuyendo al nivel de adaptación y a la guía visual. Por ello, la luminancia (*luminance*) de las paredes influye en la calidad del alumbrado.

La luminancia (*luminance*) media de las paredes de los túneles, hasta una altura de

al menos 2 m, debería ser como mínimo del 60% de la luminancia (*luminance*) media de la superficie de la calzada en la zona en cuestión [4].

Para conseguir este objetivo, paralelamente a la sustitución de la tipología de la iluminación en interior de los túneles, se procedió a la instalación de paneles de acero vitrificado de color blanco, RAL 9010, con un coeficiente de reflexión del 78%.

Estos paneles aportan mejoras de las que destacamos:

- Uniformidad (*uniformity*) de la iluminación.
- Eliminación del efecto de agujero negro.
- Guía visual.
- Visibilidad de la señalización.
- Contraste de los objetos percibidos por el usuario.
- Aspecto estético.
- Incrementar el rendimiento de los equipos de ventilación, al disminuir el coeficiente de rozamiento del aire.
- Mayor fiabilidad de los sistemas DAI por incremento de la uniformidad (*uniformity*).
- Facilidad de limpieza.

5. Estudio lumínico

5.1. Descripción del sistema de alumbrado instalado en 1995

La instalación inicial (1995) del alumbrado permanente estaba constituido, como ya se ha dicho, por 466 proyectores VSAP (HPS) de 150 W de potencia cada uno, montados en una única hilera en la bóveda (instalación cenital).

En esta situación inicial, la iluminancia (*luminance*) horizontal media en el interior de los túneles (alumbrado permanente) era de 70 lux, con una uniformidad (*uniformity*) del 32%, según mediciones periódicas realizadas desde su puesta en servicio. Hay que tener en cuenta que cada cuatro años, desde su puesta en servicio, se había procedido a un cambio masivo de las lámparas, reactancias, arrancadores y condensadores, con el objeto de mantener los valores iniciales de luminancia (*luminance*) y minimizar las averías puntuales, cuya reparación incrementan los costes de conservación.

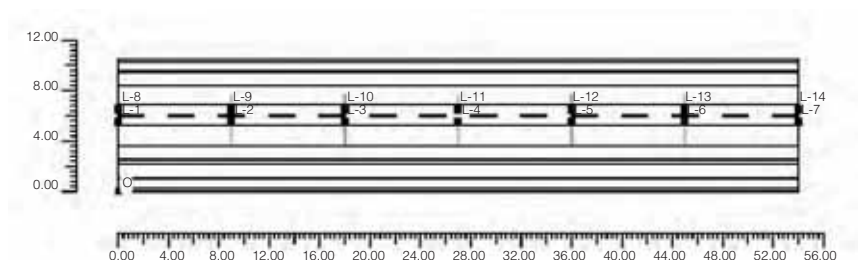


Figura 3. Disposición luminarias



Figura 4. Vista interior de los Túneles de Parpers



Figura 5. Vista interior de los Túneles de Parpers

5.2. Datos de los parámetros de iluminación obtenidos del alumbrado ejecutado con LED, antes y después de instalar los paneles

En la instalación realizada en el año 2008 se montaron 932 luminarias equipadas con una lámpara LED de 60 W de potencia, en vez de las 932 luminarias equipadas con lámparas VSAP (HPS) de 100 W, previstas en el proyecto “MEJORA DE LA SEGURIDAD DE LOS TÚNELES DE PARPERS. C-60. P.K. 5,740 AL 7,750. ARGENTONA - LA ROCA DEL VALLÉS”, citado anteriormente.

Con esta actuación y antes de instalar los paneles de acero vitrificado de color blanco, se obtuvo, en las mediciones realizadas, un nivel medio de iluminación de 66 lux, con una uniformidad (*uniformity*) del 48%.

Una vez montados los paneles de acero vitrificado se procedió a realizar nuevas mediciones en el interior de los túneles, obteniendo un nivel medio de iluminación de 77,57 lux, con una uniformidad (*uniformity*) del 51,57%. Lo que representa una mejora sustancial de ambos parámetros.

6. Consumo de energía eléctrica

Según el Real Decreto 1164/2001, de 26 de octubre, por el que se establecen las tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica, el artículo 7 determina que las tarifas 6 corresponden a generales de alta tensión, y que serán de aplicación a cualquier suministro para tensiones comprendidas entre 1 y 36

kV, con potencia contratada en algunos de los periodos tarifarios superior a 450 kW y a cualquier suministro en tensiones superiores a 36 kV, en el escalón de tensión que corresponda en cada caso.

La tarifa actual aplicada en las dos acometidas de los Túneles de Parpers es la 6.1, según las facturas suministradas por la Administración, puesto que la potencia contratada en todos los periodos es de 500 kW y por lo tanto sobrepasa los 450 kW límite que marca el Real Decreto 1164/2001 de 26 de octubre.

Partiendo de los datos de consumo, obtenidos del Centro de Control de Carreteras de Vic, se ha elaborado el siguiente gráfico, en el que se aprecia la evolución de los consumos de las dos acometidas existentes en los Túneles de Parpers, uno cuando las luminarias estaban equipadas con lámparas de VSAP (HPS) de 150 W y el otro con la nueva instalación de LED de 60 W. Como se puede apreciar, el ahorro medio ha resultado ser de aproximadamente 13,47%.

Debido a esta disminución del consumo se puede modificar la tarifa actual, pasando a la tarifa a la 3.1 A, (0 a 450 kW), lo que supone una reducción de la potencia contratada. Esto obligaría a instalar un maxímetro, para medir y abonar el exceso de potencia consumida por el funcionamiento del sistema de ventilación

El 99,50% de los valores de los consumos facilitados por el Centro de Control de Carreteras de Vic [8] corresponden al consumo de la instalación de alumbrado, pues se ha comprobado que el funcionamiento del sistema de ventilación sólo se ha producido al realizarse las revisiones funcionales.

7. Análisis económico comparativo entre la instalación proyectada y la ejecutada

Los costes no incluyen el IVA.

7.1. Instalación Proyectada

- Potencia contratada: 500 kW x 2.
- Potencia máxima de ventilación en 1 tubo: 10% de la potencia total consumida en mes punta.
- Puntos de Luz: 932.
- Potencia nominal por luminaria con VSAP: 100 W.
- Horas funcionamiento al año: 8 760 (365 días, por 24 h/día).
- Coste término potencia: 45 000 €/año, con coste mix de 3,75024 €/kW al mes.
- Coste término energía: 76 500 €/año, con coste mix de 0,08737 €/(kW.h) al mes.
- Coste energía reactiva : 1,65 % de la tota
- Sustitución luminarias cada 20 años. Hemos considerado este periodo por ser el que se cita en el anexo 2 de la “*guide pour la maîtrise des coûts de fonctionnement des tunnels routiers*” y en la “*note d’information n° 19 L’éclairage des tunnels par LED*”, ambas del CETU; a pesar que en los túneles de Parpers su vida útil ha sido de 12 años (1995 a 2007).
- Sustitución lámparas, arrancadores, reactancias y condensadores cada 4 años.
- Coste luminaria y lámpara instaladas (valor adjudicación): 379,16 €/unidad
- Se ha realizado la hipótesis que al fi-



Figura 6. Vista interior de los Túneles de Parpers

nalizar el año 8 de la instalación de los LED's, a las luminarias para lámparas de VSAP (HPS) le quedaría una vida residual de 13 años y a las lámparas y equipos 1 año, lo cual equivale en teoría a la cantidad de 154 016,73 €, valor residual.

7.2. Instalación Ejecutada

- Potencia contratada (propuesta): 400 kW x 2.
- Potencia máxima de ventilación en 1 tubo: 10% de la potencia total consumida en mes punta.
- Puntos de Luz: 932.
- Potencia nominal por luminaria con Led: 60 W.
- Horas funcionamiento al año: 8 760 (365 días, por 24 h/día).
- Coste término potencia: 42 325,17 €/año, se obtiene considerando que en la disminución de la potencia contratada, la instalación de LED's colabora en 37,38 Kw/h
- Coste término energía: 42 800,47 €/año.
- Coste energía reactiva: 0.
- Sustitución lámparas cada 8 años (en el caso que nos ocupa no existen luminarias).

- Coste lámpara instalada (precio contradictorio real, de contrato): 454,45 €.
- Se supone que por averías, es necesario sustituir el 10 % de las lámparas de LED's, en un periodo de 7 años.

7.3. Cuadro comparativo entre la instalación proyectada y ejecutada

Los valores reseñados en los dos puntos anteriores corresponden a los costes detectados durante el primer período de funcionamiento de la explotación, habiéndose extrapolado a 7 años.

En el estudio de costes no se ha tenido en cuenta el de los paneles de acero vitrificado, ya que como se ha indicado anteriormente, el objeto de su instalación fue mejorar el confort del usuario y, por ende, su seguridad.

Si la instalación se hiciera hoy, la rentabilidad sería superior, ya que la tendencia del precio de los LED está suponiendo una disminución de un 1,5% anual.

Los resultados económicos son los siguientes:

- Amortización de la instalación: 3,26 años.
- Ahorro real obtenido en 7 años:

293 446,49 €.

- Ahorro teórico obtenido en 7 años, considerando un valor residual teórico de 154 016,73 €, de las luminaria y lámparas de VSAP, es de 139 429,76 €.
- No tiene sentido conceptualmente hablar de TIR ni de Payback en este estudio sobre diferencias de gastos.
- El VAN (tasa de descuento del 4%) con lámparas de VSAP (HPS) es de 1 217 904,67 € y de 976 794,68 € con lámparas de LED's. Es decir, una diferencia de 241 109,97 € a favor de la instalación con LED's.

Hay que indicar que el periodo de amortización del sistema de iluminación que se describe en el presente artículo se ha obtenido a partir de datos reales, y considerando unas determinadas hipótesis para estimar los costes de mantenimiento de la instalación en el futuro; dado que este periodo de amortización es muy sensible a determinados parámetros, los resultados mostrados no deberían generalizarse y se recomienda estudiar cada caso adoptando las hipótesis que mejor se ajusten al escenario considerado.

8. Conclusiones

Los principales sistemas consumidores de energía en los Túneles de Parpers son la iluminación y la ventilación, por carecer de un sistema de bombeo contra incendios.

En cuanto a la eficiencia (*efficiency*) energética y mejora de la iluminación, se ha comprobado que se ha obtenido de la siguiente forma:

- Invirtiendo en luminarias equipadas con LED.
- Invirtiendo en la instalación de paneles de acero vitrificado.
- Reduciendo la potencia contratada por la instalación de LED y además, en el caso de los túneles de Parpers, y debido a la orientación de los túneles y a su pendiente longitudinal, el tiro natural es lo suficientemente importante como para no utilizar la ventilación instalada (según se ha comprobado en los 15 años de funcionamiento), salvo en situaciones de incendio y en los mantenimientos preventivos. Como el consumo de este sistema representa el 99,50%

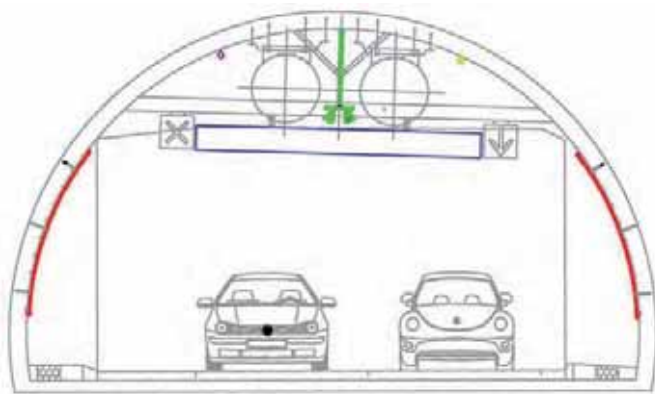


Figura 7. Sección Túneles de Parpers



Figura 9. Consumo con Vapor de Sodio de alta presión (*high pressure sodium*) vs Leds



Figura 8. Vista interior de los Túneles de Parpers

del consumo total, es posible reducir el término potencia, instalando un máximo, para medir y abonar el exceso de potencia consumida por el funcionamiento del sistema de ventilación. La compañía eléctrica en este caso no ha garantizado el suministro con una reducción de la contratación superior al 20%.

No se ha contemplado el montaje de arrancadores estáticos en los ventiladores, para reducir la punta de consumo en los arranques (incremento del consumo de energía eléctrica en un 73%) debido a su elevado coste y teniendo en cuenta que se ha comprobado en los 15 años de funcionamiento, tal y como ya se ha dicho, que sólo han funcionado durante las revisiones.

En una instalación de nueva construcción, además se obtendría un ahorro en la sección del cableado, debido a la diferencia de potencia que consumen los dos tipos de alumbrado objeto de este artículo.

Referencias bibliográficas

- [1] La iluminación de los túneles mediante Led's. Enero 2011. CETU.
- [2] Tecnología Led. Asociación Española de Fabricantes de Iluminación.
- [3] Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. 2002.
- [4] Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles. Ministerio de Fomento. 1999.
- [5] RD 1890/2008, de 14 de noviembre,

por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia (*efficiency*) energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. 2008.

- [6] Proyecto "Mejora de la Seguridad en los Túneles de Parpers.C-60. P.K. 5+740 al P.K. 7+750. Argentona – La Roca del Vallés". Fase 1. *Generalitat de Catalunya*, 2007.
- [7] Proyecto Modificado 1 "Mejora de la Seguridad en los Túneles de Parpers.C-60. P.K. 5+740 al P.K. 7+750. Argentona – La Roca del Vallés". Fase 1. *Generalitat de Catalunya*, 2009.
- [8] Las Memoria de Explotación del Centro de Control de Carreteras de Vic, desde el año 1997 al 2009. ❖



Figura 10. Comparativa entre coste con VSAP (HPS) y Leds para los túneles de Parpers