

# ILUMINACION DE VIAS PÚBLICAS: MEJORA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL TUNEL DE LA ALCAZABA (MÁLAGA)



Laura María Arroyo Romero 50606138-C

José Fº Benítez Calvo 74842107-S

Fº Javier Salgado Fernández 44652559-Z

---

EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL PRODUCTO

---

**INDICE**

1. <u>DESCRIPCION GENERAL.</u>	Pág. 2-10
1.1. Antecedentes y objeto	Pág. 2
1.2. Nombre de la instalación	Pág. 2
1.3. Descripción	Pág. 3
1.4. Imágenes del producto	Pág. 4-6
1.5. Principio de iluminación en túneles	Pág. 7-8
1.6. Conceptos y estilos de iluminación	Pág. 9-10
2. <u>NORMATIVA</u>	Pág. 11
3. <u>MERCADO</u>	Pág. 12
4. <u>COMPORTAMIENTO DEL USUARIO E INFRAESTRUCTURA LOCAL</u>	Pág. 13-14
5. <u>TECNOLOGÍAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA INCORPORADAS AL PRODUCTO</u>	Pág. 15-23
5.1. Luminarias LED	Pág. 15-17
5.2. Vidrios reflectores	Pág. 18
5.3. Sensores	Pág. 19-20
5.4. Aplicación de pintura especial para túneles	Pág. 21-22
5.5. Consumo, ventajas, y ahorro	Pág. 23
6. <u>CONCLUSION</u>	Pág. 24
7. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	Pág. 25

## 1. DESCRIPCION GENERAL

### 1.1 Antecedentes y objeto

Después de efectuar estudios y análisis de eficiencia energética, el grupo de trabajo se ha planteado ante la deficiente iluminación que actualmente está instalada en el túnel de la Alcazaba en Málaga, realizar un estudio sobre cómo se podría mejorar este importante factor y a la vez reducir el consumo energético.

Inicialmente se ha realizado un estudio completo de la situación actual de la iluminación, a la vez que se ha consultado a los propios ciudadanos y usuarios de esta instalación. La respuesta obtenida ha sido unánime, y es que todos consideran que la luz que se percibe es deficiente, oscura e incluso triste, y no por ello tiene un consumo energético bajo, sino todo lo contrario, debido a que las luminarias instaladas no aplican las últimas tecnologías como ya explicaremos junto al resto de mejoras más detalladamente, a continuación.

En objeto del presente proyecto es aportar una solución al citado problema, introduciendo una serie de mejoras en la instalación del túnel de la Alcazaba, que producirán un importante ahorro energético con su consecuente ahorro económico para las entidades públicas.

### 1.2 Nombre de la instalación

#### LUZ DEL SUR

(Mejoras de eficiencia energética aplicadas al túnel de la Alcazaba en Málaga)

1. Cambio de iluminación a tipo LED y Blanca
2. Vidrios reflectantes
3. Sensores
4. Aplicación de pintura especial para túnele

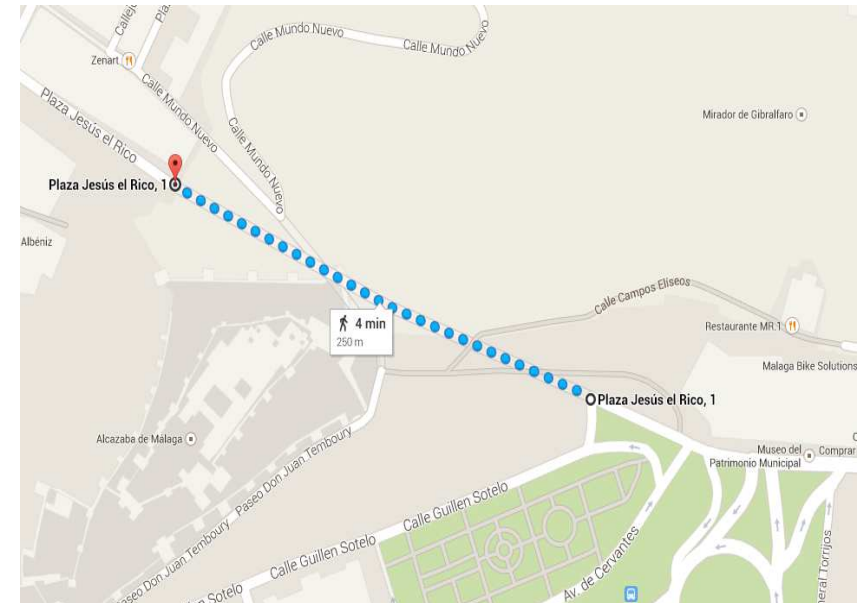


Figura 1. Mapa de emplazamiento del túnel estudiado

## 1.2 Descripción

El túnel donde se van a implementar las mejoras es el túnel de la Alcazaba, pero estas mejoras están pensadas para que puedan ser importadas a otros túneles similares. Concretamente nuestro túnel está construido bajo el monte Gibralfaro y el cerro Alcazaba, ambos situados en pleno centro de Málaga, España. Se inauguró en 1999 y une el Parque de Málaga y La Malagueta con la Calle Alcazabilla y la Plaza de la Merced.

La longitud del túnel es de El túnel tiene una longitud de 240,05 metros, constituido por un tramo central de 182,75 mts, más los tramos en falso túnel, 33,50 metros en la Calle Alcazabilla y 23,80 en la zona del Parque. Su anchura es de 16 metros con forma de arco central de 9 metros de radio y dos laterales con radio de 4,82 metros.

El túnel está destinado para de circulación de tráfico rodado junto con para peatones, estos últimos circulan por aceras situadas en los laterales, una acera en cada lateral, ambas separadas de la calzada por una barandilla. La calzada del túnel está formada por cuatro carriles, dos para cada sentido.



*Figura 2. Salida del túnel noroeste*

### 1.3 Imágenes del producto:

A continuación se muestran imágenes de las mejoras que se proponen implantar.

#### 1. Cambio de iluminación a tipo LED y Blanca



*Figura 3. Led Philip Inda*

#### 2. Vidrios reflectantes



*Figura 4. Paneles de vidrio facetados para el Daylighting'.*

#### 3. Sensores de presencia



*Figura 5. Sensor de presencia en calzada*

#### 4. Aplicación de pintura especial para túneles



*Figura 6. Pintura especial para túneles*



Figura 7. Imagen del túnel desde Google Street View



*Figura 8. Recreación realizada del túnel de la Alcazaba*

#### 1.4 Principios de la iluminación en túneles [1]

La iluminación en túneles contribuye a la seguridad en carretera, ya que ayuda a los conductores a adaptarse al pasar de la luz natural al nivel de luz en el interior del túnel. Por la noche sucede lo contrario, ya que el interior puede tener tres veces más de luz que la carretera del exterior. Entre esos dos extremos, la iluminación debe proporcionar el nivel de confort y seguridad adecuado para los usuarios de la carretera.

##### Iluminación en la entrada

Al acercarse a un túnel, los conductores verán la entrada como un agujero negro. La razón es que los niveles de luz en el interior del túnel son muy inferiores a los del exterior. Nuestros ojos no se adaptan a cambios de iluminación extremos y se ajustan automáticamente a la luz más intensa, lo que limita la visibilidad de obstáculos a la entrada. Para compensar este efecto, es necesario que la iluminación sea adecuada a la entrada del túnel. De esta forma, se garantiza que los conductores verán los objetos con la distancia de frenado correspondiente antes del túnel. Además, también se asegura al conductor que el túnel es seguro y se puede entrar sin reducir la velocidad, algo que es importante para mantener el flujo del tráfico.

La cantidad de luz necesaria para evitar el efecto de agujero negro depende de la intensidad de la luz en el exterior del túnel, por ejemplo en un día soleado o nublado. La medición de la luminancia del portal L20 se suele usar como entrada para regular las distintas etapas necesarias en los niveles de luz. Nuestros ojos necesitan tiempo para adaptarse al pasar del nivel de iluminación de la entrada al del interior. Para que los conductores puedan avanzar por el túnel sin reducir la velocidad, el nivel de iluminación de la entrada se debe reducir gradualmente a lo largo del recorrido, en función de la curva CIE en la denominada "iluminación de la zona de transición".

##### Iluminación de interior

Una vez que los ojos se han adaptado a los niveles inferiores, se requiere la iluminación suficiente en el interior del túnel para garantizar la seguridad. Por lo general, dicha iluminación se obtiene de luminarias colocadas a intervalos regulares a lo largo del túnel. Durante el día, los niveles de luminancia típicos necesarios son de 2-12 Cd/m<sup>2</sup>, dependiendo de la velocidad y la densidad del tráfico. Por la noche, los niveles de iluminación deben ser aproximadamente el doble que en las carreteras adyacentes.

### Salidas de túneles

Si bien la zona de salida del túnel no es tan crítica, puesto que el ojo se adapta más rápidamente a un aumento de la luminosidad, en túneles largos puede necesitarse iluminación adicional. El objetivo de la iluminación de la salida del túnel es proporcionar a los conductores visibilidad suficiente cuando miran al espejo retrovisor. La iluminación de la salida solo se activa durante el día.

### Túneles largos y cortos

Los principios de iluminación de túneles varían en función de la longitud de estos. Los túneles cortos con la salida totalmente visible, o los que tienen buena luz natural, alta reflectancia en los muros ( $> 0,4$ ) y poco tráfico, no suelen necesitar iluminación durante el día. Desde un punto de vista técnico y según la definición de túnel corto y largo, se pueden iluminar en función de ser "túneles largos" o de tener poca iluminación natural (por ejemplo, el 50 %).

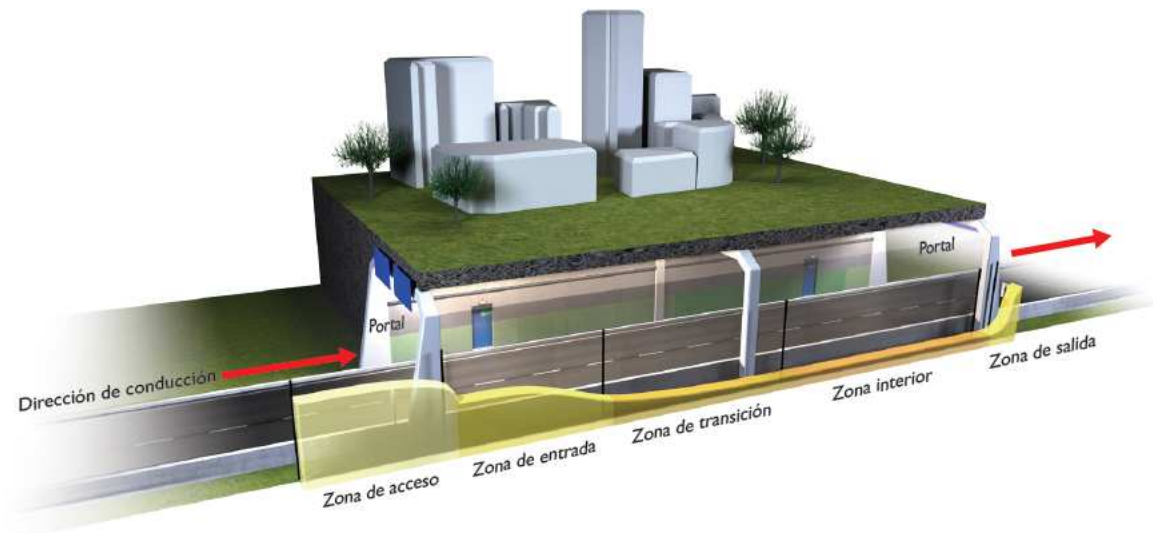


Figura 9. Zonas del túnel según su iluminación

## 1.5 Conceptos y estilos de iluminación

Cada zona de un túnel tiene criterios propios sobre el diseño y el rendimiento de la iluminación. Se han desarrollado distintos conceptos y estilos para llegar al equilibrio perfecto entre visibilidad, seguridad y economía.

Cada zona de un túnel tiene requisitos propios para el diseño y el rendimiento de la iluminación. Por ejemplo, las entradas requieren altos niveles de luz con poco espacio entre luminarias, o incluso sin espacio. Por el contrario, la iluminación del interior del túnel debe ser de nivel bajo, con o sin espacio entre luminarias. Con nuestra amplia cartera de luminarias podemos crear cualquier concepto de iluminación para proporcionar el equilibrio preciso entre visibilidad, seguridad y economía.

### Iluminación en la entrada y en el interior

En las entradas de túneles se necesita un alto nivel de luz, el espaciado de las luminarias puede ser discontinuo y se requieren varias etapas de iluminación. Por el contrario, la iluminación del interior tiene un nivel más bajo, el espaciado de las luminarias es continuo y solo se requieren una etapa de iluminación diurna y otra nocturna.

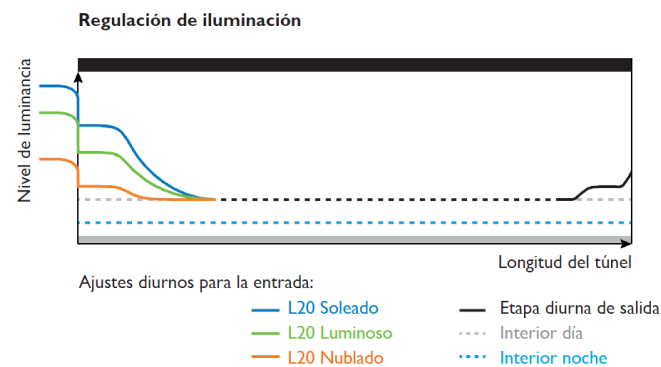


Figura 10. Regulación de iluminación de un túnel

### Estilos de iluminación en la entrada

Los dos estilos más habituales son la iluminación simétrica y a contraflujo. La iluminación simétrica proporciona menos contraste, pero se suele percibir como más cómoda y menos deslumbrante. Las luminarias simétricas se pueden colocar en el centro, sobre la calzada, o en cornisas.

En los proyectos de iluminación a contraflujo, la luz se dirige hacia el flujo del tráfico. Se produce un mayor contraste y los objetos parecen oscuros sobre un fondo claro. Como consecuencia de este mayor contraste, se suelen aceptar niveles de iluminación más bajos en la entrada. Si bien cumple la normativa, puede producir más deslumbramiento. Este tipo de iluminación no se puede colocar en cornisas en el túnel.

La iluminación a contraflujo solo es adecuada para carreteras cuya superficie es especular. No se puede usar en carreteras con superficie de hormigón (difusa).

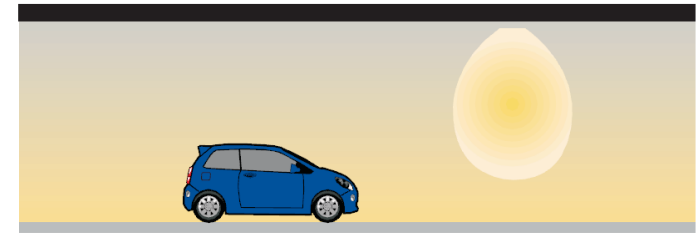
La selección de la iluminación simétrica o a contraflujo depende, entre otras cosas, del equilibrio entre confort y eficiencia.

### Estilos de iluminación de interior

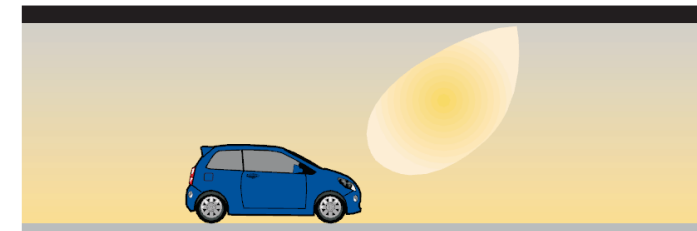
La iluminación de interior es simétrica. Existen dos opciones para los programas de iluminación de interior: de punto de luz o lineal.

La iluminación de punto de luz, como la creada tradicionalmente con lámparas HPS, requiere menos luminarias, pero su uniformidad es menor y crea un efecto de parpadeo continuo al avanzar por un túnel (comportamiento dinámico).

La iluminación lineal, creada tradicionalmente con lámparas fluorescentes, requiere más luminarias, pero la uniformidad de la iluminación es mayor y no produce ningún efecto de parpadeo.



iluminación simétrica



iluminación a contraflujo

Figura 11. y 12. Estilos de iluminación de un túnel

## **2. NORMATIVA**

Actualmente no existen normativas europeas que se puedan aplicar directamente a nuestro tipo de instalaciones, en nuestro caso iluminación en túneles. Sin embargo, casi todos los países tienen sus propias recomendaciones, por lo que la consultoría sobre túneles es un negocio muy local.

Directiva Europea 2004/54/CE <http://www.tassociats.com/esp/down/tunels.pdf>

REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado

[http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/D8B188A5-6145-4AB1-9804-77FC88493897/68250/0910101\\_2006.pdf](http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/D8B188A5-6145-4AB1-9804-77FC88493897/68250/0910101_2006.pdf)

### Control de luz-eficiencia energética para instalaciones de alumbrado exterior

Con el fin de lograr una eficiencia energética adecuada en las instalaciones de alumbrado exterior, éstas deberán cumplir, al menos, con los requisitos siguientes:

1º- Los niveles de iluminación de la instalación no superen lo establecido en la instrucción técnica complementaria ITC-EA-02, salvo casos excepcionales, que requerirán autorización previa del órgano competente de la Administración Pública.

2º- Para el alumbrado vial, se cumplan los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos en la ITC-EA-01. Para el resto de instalaciones de alumbrado, se cumplan los requisitos de factor de utilización, pérdidas de los equipos, factor de mantenimiento y otros establecidos en las instrucciones técnicas complementarias correspondientes.

3º - En donde se requiera, dispongan de un sistema de accionamiento y de regulación del nivel luminoso, tal y como se define en la ITC-EA-04.

[http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/5C9F78D2-2119-4609-96CC-69601916C519/68223/1210101\\_2008.pdf](http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/5C9F78D2-2119-4609-96CC-69601916C519/68223/1210101_2008.pdf)

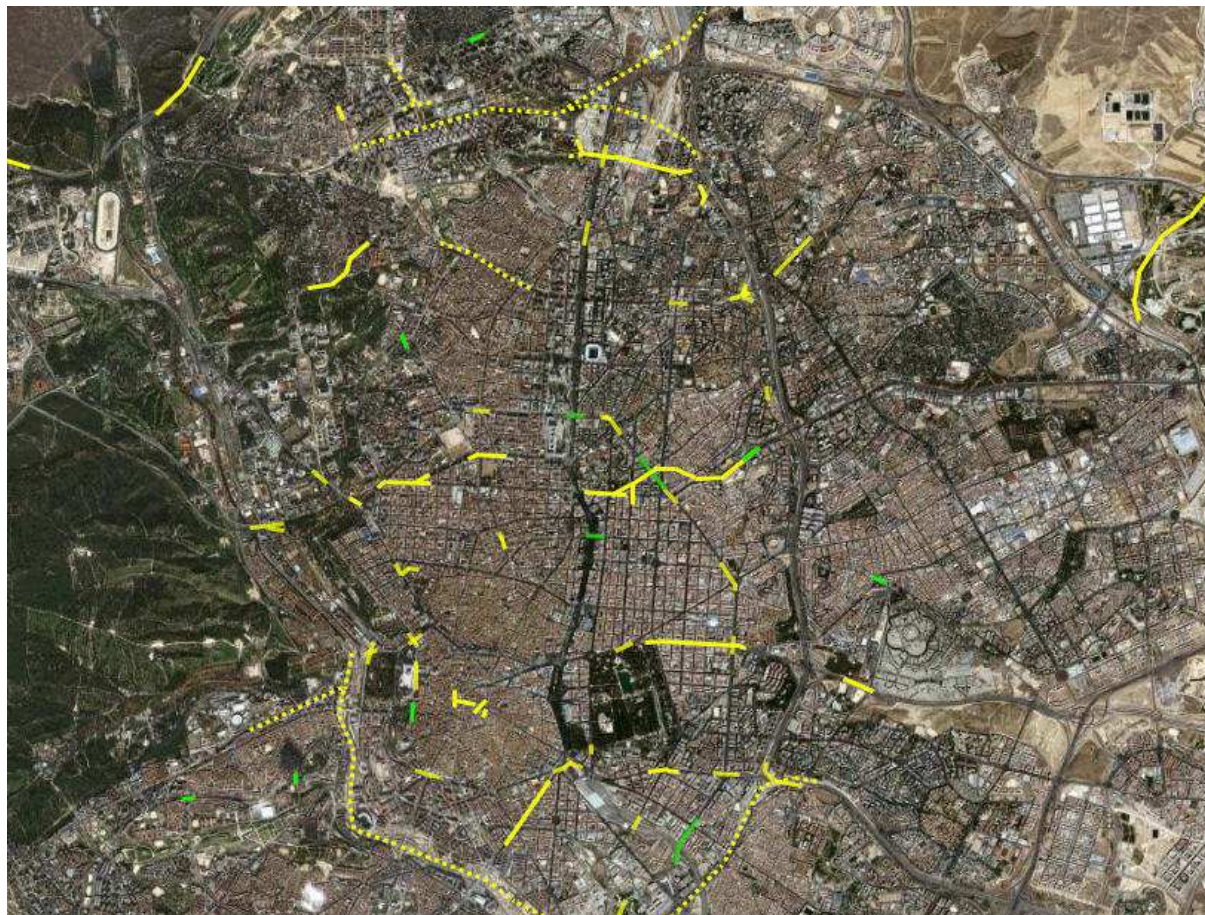
### 3. MERCADO

A continuación se aportan datos ilustrativos del tamaño del mercado para estas instalaciones y qué perspectivas futuras tienen.

En España existen 396 túneles pertenecientes a la Red de Carreteras del Estado, los cuales suman una longitud que supera los 208 kilómetros. Asturias, Galicia y Aragón son las comunidades donde más tramos hay.

El dato que más nos interesa es que de los 396 túneles estatales 315, es decir casi el 80%, se encuentran inmersos en procesos de mejora de seguridad para adaptarse a la Directiva Europea. Esto constituye un nicho de mercado muy interesante en donde nuestras mejoras pueden encajar perfectamente.

Por concluir este dato cabe decir que la partida destinada a la mejora supera los 360 millones de euros, lo cual no es nada desdeñable.



*Figura 13. Mapa de Madrid donde se muestran los túneles actuales (amarillo) en proyecto (verde) pasas inferiores (amarillo discontinuo)*

#### **4. COMPORTAMIENTO DEL USUARIO E INFRAESTRUCTURA LOCAL**

##### La iluminación para los usuarios

La iluminación es esencial para el tráfico en un túnel, pero nos encontramos ante un campo complejo y exigente. Por un lado, el rendimiento de la iluminación es clave en la seguridad y comodidad para los usuarios de la carretera, pero por otro el mantenimiento del sistema es a veces difícil por las limitaciones y de acceso de los túneles. Además las exigencias en eficiencia energética son elevadas. Esto lleva aparejado nuevas exigencias de los conductores en los túneles. También aumentará la demanda de nuevas soluciones de luz blanca que aumente la visibilidad, reduzca los accidentes y evite costosos atascos.

En cada túnel hay distintas partes interesadas. Cada una de ellas tendrá requisitos especiales en cuanto al valor y las ventajas que toda instalación de iluminación deberá demostrar.

Menos cantidad de luz azulada puede evitar la dispersión en el ojo en personas mayores, y la luz blanca mejora la percepción espacial en quienes temen los espacios cerrados.

La importancia de los precios, la disponibilidad y el impacto medioambiental del alto consumo de energía hará que aumente también la demanda de soluciones de iluminación en túneles con menor consumo energético y menores emisiones de carbono.

Las limitaciones económicas forzarán a las administraciones a reducir los costes energéticos y de mantenimiento. Las inversiones serán muy escasas o nulas. Serán necesarios nuevos modelos de negocio para satisfacer los requisitos en constante cambio de las infraestructuras.

##### ¿Por qué se necesita la iluminación en túneles?

La expansión de las áreas urbanas fuerza a las administraciones a realizar inversiones en túneles para minimizar la congestión de las redes de carreteras. Con objeto de garantizar que los túneles son vías seguras para los conductores, la iluminación debe crear los mismos niveles de seguridad, confianza y comodidad que en las carreteras, a cualquier hora del día o de la noche.

Dentro de un túnel, la seguridad es primordial. La iluminación tiene que dar visibilidad a la presencia y el movimiento de los demás usuarios u objetos en la carretera, así como contribuir a describir el trazado del túnel para que los conductores puedan cruzarlo sin problemas.

En la siguiente tabla se muestra cuál es la vida útil del producto y qué pasaría al final de la vida útil del producto.

Las luminarias, sensores, así como el resto de materiales instalados tienen un patrón de uso de 24 horas los 365 días al año, prácticamente. Sin embargo las luminarias si tienen diferentes patrones de uso según las necesidades de luminancia del túnel.

PRODUCTO	VIDA ÚTIL ESTIMADA <sup>(1-2)</sup>	USO DEL USUARIO	FINAL DE LA VIDA UTIL
Luminarias LED	25 años	Pasivo	Reposición y reciclado en planta adecuada
Vidrios reflectores	20 años	Pasivo	Reposición y reciclado en planta adecuada
Sensores ocupacionales calzada	15 años	Pasivo	Reposición y reciclado en planta adecuada
Sensores ocupacional peatones	10 años	Pasivo	Reposición y reciclado en planta adecuada
Sensores fotoeléctricos	15 años	Pasivo	Reposición y reciclado en planta adecuada
Pintura	8 años	Pasivo	Eliminación y nueva imprimación del producto

Tabla 1. Vida y uso de los productos instalados

(1) La vida útil cuando se refiere a obras de ingeniería, como puentes, se calcula en años y no en horas, sobre todo para efectos de su amortización, ya que en general estas obras continúan prestando utilidad mucho más allá del tiempo estimado como vida útil para el análisis de factibilidad económica.

(2) La vida útil de las instalaciones de nuestro túnel pueden verse afectadas por el incremento del tráfico, o por cambios en la normatividad vial.

## 5. TECNOLOGÍAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA INCORPORADAS AL PRODUCTO.

A continuación se explican cuáles son las principales tecnologías incorporadas en nuestra instalación, y qué impactos tienen con respecto al ahorro energético.

### 5.1 LUMINARIAS LED

En sustitución a los focos de luz que se disponen transversalmente a lo largo de todo el recorrido del túnel. Dichos focos son de vapor de sodio de alta presión, de un consumo aproximado por unidad de 600 W/h.

El ahorro energético que se supone mediante la instalación de luminarias LED es del 50% en cuanto a consumo directo se refiere (mismo período de funcionamiento) sin variación de la potencia consumida.

El modelo de luminaria que se ha elegido es el T-Line de la empresa Philips Indal. Este tipo de dispositivo de iluminación permite, aparte de un ahorro energético considerable con respecto a las luminarias instaladas actualmente en el tramo de túnel de la Alcazaba, sino que mejora la iluminación de la vía garantizando la seguridad vial. Esto se debe a varias características del modelo:

Sistema de iluminación lineal, no produce sombras durante la trayectoria, lo que puede resultar en un efecto negativo para la visión del conductor conocida como *efecto Flicker* (ver figura 15) [2].

Otra de las ventajas del uso de la tecnología LED frente al vapor de sodio es la reproductibilidad del color. Mientras que la tecnología actual crea un ambiente anaranjado y oscuro, los diodos crean una sensación cromática de luz blanca neutra, óptima para una buena visibilidad.

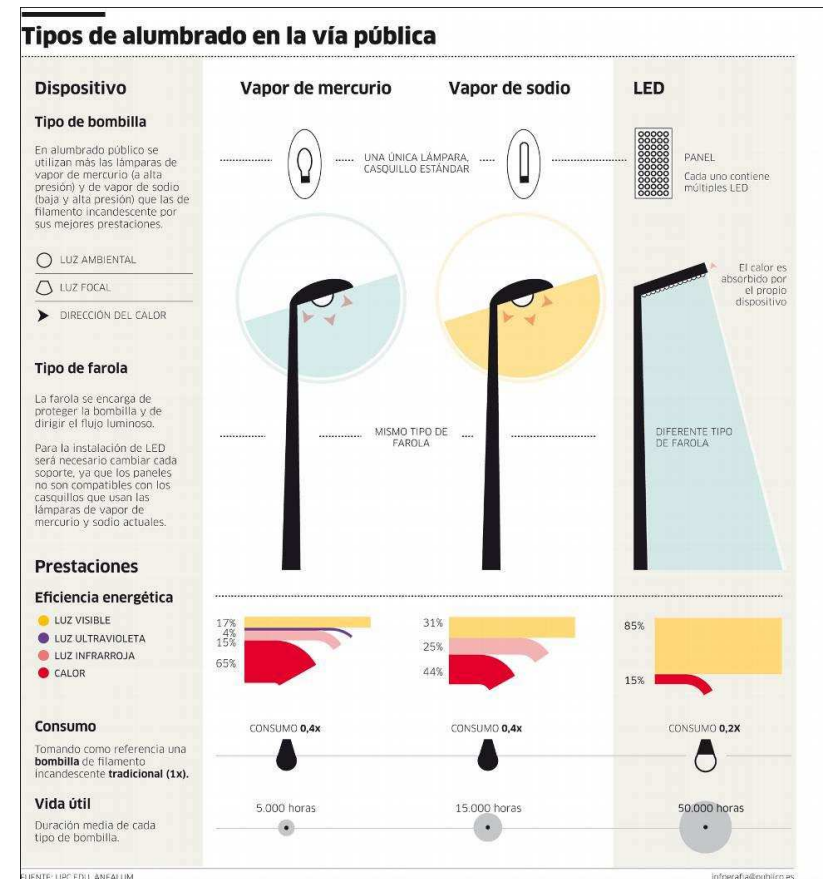


Figura 14. Tecnologías de Iluminación de vías públicas

La tecnología LED también permite un encendido instantáneo, que en caso de mantenimiento de las luminarias, reduciría el período de espera hasta la vuelta a pleno funcionamiento.

Sumado a esta última ventaja, la posibilidad de direccionar la luz proyectada por debajo de los, permite crear una iluminación a contraflujo, como la que se muestra en la *figura 15 [3]*.



Figura 15. Efecto 'Flicker' o Parpadeo Lumínico



Figura 16. La iluminación a contraflujo garantiza un mayor contraste entre el vehículo y la carretera

El diseño de la luminaria T-Line de Indal, montada sobre un perfil en H permite una refrigeración natural del dispositivo así como una limpieza sencilla que disminuye costes de mantenimiento, reparación y tiempos, evitando largos atascos por culpa de la actuación de la mano de obra [4].

Las luminarias se suministran con un circuito que lo conecta a un terminal remoto. El cable pasa a través de una tubería y llega hasta la consola central del túnel, donde se encuentran todas las cajas de control. Las luminarias se pueden regular desde el ordenador base por medio de un sistema de dirección. [5].



Figura 17. Perfil en H como soporte de la luminaria.

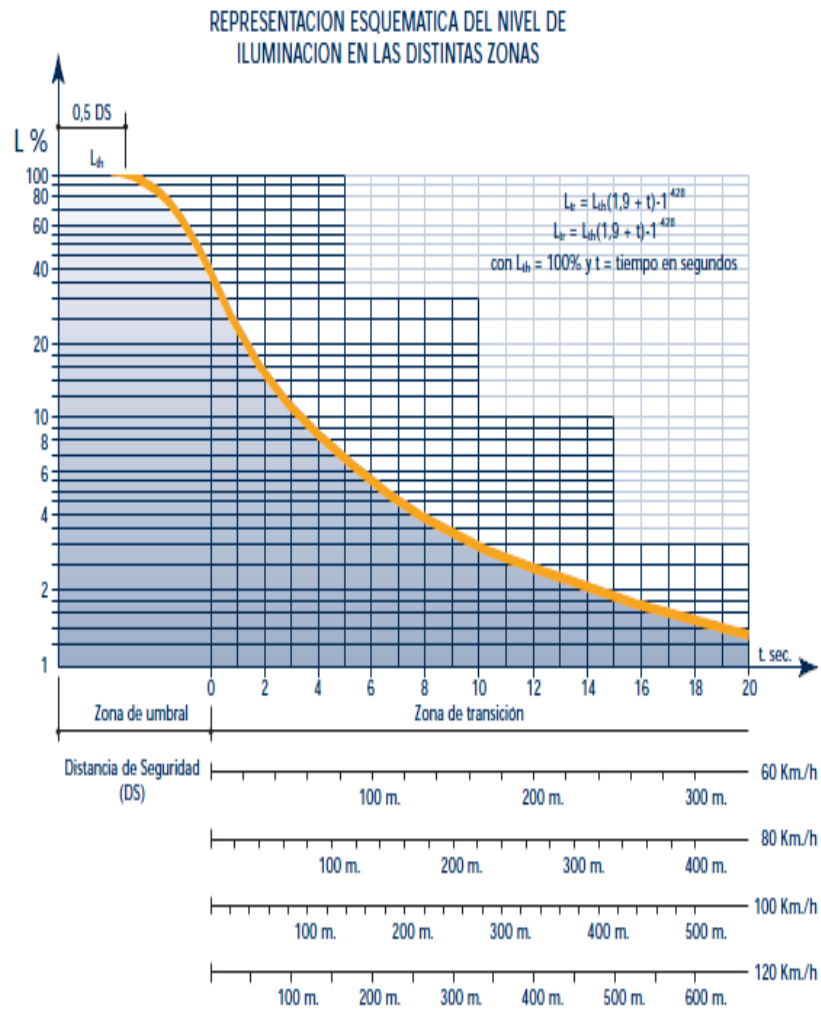


Figura 18. Gráfica de representación de la necesidad de iluminación dependiendo de la zona del túnel.

Dependiendo de la franja horaria las necesidades de iluminación del tramo variarán según diferentes aspectos como:

- El consumo energético (menor de día que de noche)
- Adaptabilidad de la visión
- Evitar riesgos de accidentes por culpa de deslumbramientos, mantenimiento, etc.

Para mejorar en éste aspecto se combina la adaptabilidad y la regulación que ofrece la tecnología de iluminación con diodos LED junto a una disposición lineal de las luminarias en sentido decreciente desde las entradas al túnel. La figura 19 ilustra este tipo de configuración. [6]



Figura 19. Instalación gradual de luminarias para un ahorro energético y mejor visibilidad.

## 5.2 VIDRIOS REFLECTORES

Esta mejora se basa en el término 'Daylightning' que tuvo un gran auge a finales del siglo XIX y principios del XX. Se trata de la creación de sistemas o el diseño de elementos capaces de redirigir la luz diurna natural hacia espacios de interior, con el fin de reducir el consumo de electricidad destinado a la iluminación.

La instalación de dichos elementos se traduce, no en una iluminación total del recorrido del túnel con luz solar, pero sí en un aumento de la zona de umbral por la que entraría normalmente la luz, con el consiguiente ahorro de iluminación en las entradas y una mejora de la visibilidad.

Se elige un tipo de vidrio reflectante como elemento de iluminación natural, basado en la patente de Luxfer & Co. de principios de siglo [7]. El funcionamiento de dicho elemento es sencillo, se trata de paneles de vidrio facetados con prismas por una de sus caras. Estos prismas de vidrios serán los encargados de conferirle la propiedad de reflejar la luz en la dirección angular estipulada por la geometría del panel.

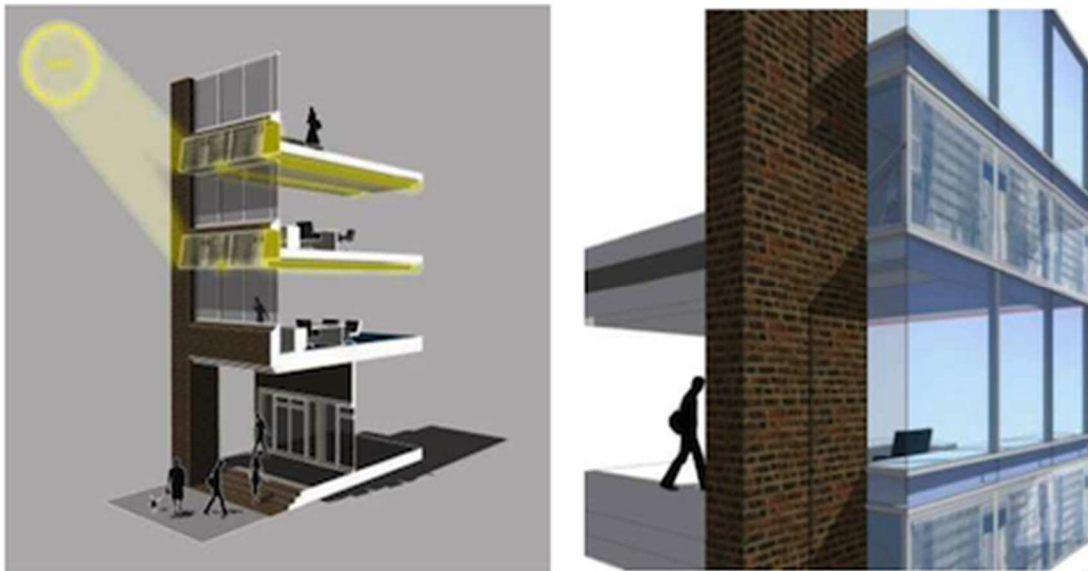


Figura 20. Iluminación de espacios interiores mediante el efecto 'Daylightning'.

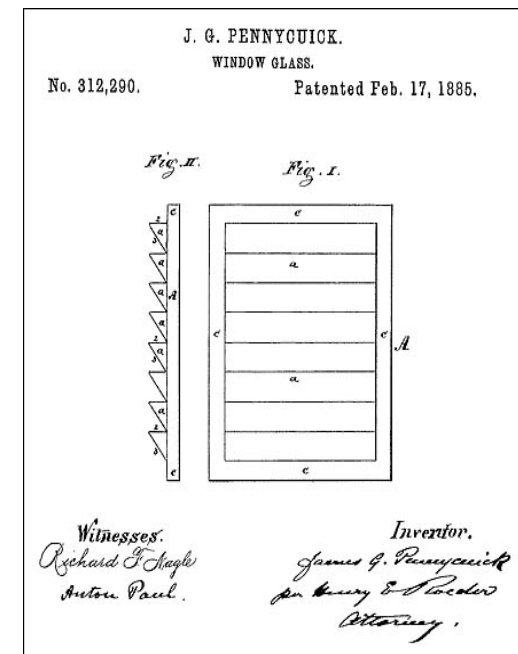


Figura 21. Patente de Luxfer de los paneles de vidrio reflectantes.

### 5.3 SENSORES

*Sensor presencia 6(1 Entrada Sur calzada, 1 Entrada Norte calzada, 1 Acera Sureste, 1 Acera Suroeste, 1 Acera Noreste, 1 Acera Noroeste)*

La idea que hemos generado es la de instalar sensores a la entrada y a la salida del túnel, con un sistema de control con la capacidad de evaluar las condiciones de presencia o ausencia, para así general la señal idónea de iluminación. En caso de no recibir señal de presencia de peatones o de vehículos la iluminación se reducirá al mínimo exigido, con su consecuente ahorro.

El derroche por ausencia de factor ocupacional ha sido caracterizado como un importante factor en la ineficiencia en los sistemas de alumbrado. Valores típicos del desperdicio por luces encendidas pueden ser del 25% de la energía total disipada en iluminación. Los sensores ocupacionales de calzada estarían situado a 50 metros de ambas entradas al túnel en el mismo asfalto y en las mismas entradas se encontrarían los sensores ocupacionales para detección de peatones, que al detectar la presencia de peatones ajustaría la iluminación del túnel a su nivel apropiado.



*Figura 22. Sensores de presencia en calzada*



*Figura 23. Sensor de presencia para peatones*

### Sensor fotoeléctrico

Otra mejora, consiste en instalar foto sensores de control electrónico que permite variar el flujo luminoso del sistema de iluminación de nuestro túnel en función de la luminancia detectada. Aprovechar la luz natural con el sistema de control significa, en diferentes circunstancias, que si la luz que está ingresando por las entradas es suficiente se puede remitir parcialmente la luz artificial. En este caso los sensores fotoeléctricos son infalible en la evaluación de la cantidad de luz detectada.

Los sensores generan una señal de control, según la cantidad de iluminación que esté recibiendo, si esta cantidad que es mayor que el valor al que se calibre, (coincidente con el nivel de luminancia ideal), una proporción de la potencia de las luminarias instaladas en el túnel controlada sería atenuada.



Figura 24. Sensor fotoeléctrico

### Sensor horario

Realmente son interruptores horarios programables que poseen más de un ciclo apagado. Precursores de estos sensores son los relojes usados para el control de luces de carteles luminosos de la vía pública. En los sensores horarios, como el que se propone instalar en el túnel, puede realizarse una programación diferente para todos los días del año, hasta incluir feriados y festivos.



Figura 25. Sensor horario

## 5.4 PINTURA ESPECIAL PARA TUNELES

Con el fin de asegurar a los conductores una buena visibilidad, el túnel dispondrá de una iluminación adecuada que permita obtener una reflectancia óptima, siempre por encima del 60% y con un óptimo valor del 85%. Con esta reflectancia, se asegura que los mecanismos de detección Automática de incidentes y Televisión en Circuito Cerrado, capten una imagen sin distorsión ni efecto “clicker” a lo largo de los cinco tramos del túnel (Acceso-Umbral-Transición-Interior-Salida) En el caso de nuestro túnel cuyo interior está acabado con hormigón, es posible recubrirlo los hastiales o bien el túnel completo, con un producto que aplicado por proyección, satisface todas las condiciones de seguridad, acordes con la Directiva Europea 2004/54/CE.

Hemos contactado con una empresa que aplicaría el producto más idóneo en este caso de la empresa VALENTINE, que ha desarrollado el recubrimiento “C-POX W200 HB” en colores RAL 9010, 1015 Y 1013, especialmente formulado para satisfacer todos los requisitos de seguridad y claridad de imagen de acuerdo con el Real Decreto 635/200, cumpliendo además con la reciente Normativa Europea de Reacción al Fuego UNE EN 13501.1-2007.

### Propiedad del Revestimiento

#### 1. SEGURIDAD

##### En caso de incendio:

- Comportamiento al fuego. Clasificación B (Contribución muy limitada al fuego)
- Producción de Humo. Clasificación S2 (Producción media de humos)
- Gotas en llamas. Clasificación d0 (No se producen partículas/gotas)
- Opacidad de humos. Satisface los mínimos de la Norma BS.

##### Efecto del Color.

La gama del color prevista, permite una distribución de la luz superior al 65% que garantiza la Detección automática Incidentes (DAI) y la visibilidad del sistema de Televisión en Circuito Cerrado (TVCC), evitando además el efecto “parpadeo” en los monitores de control. El ojo humano tiene una cierta sensibilidad a la longitud de onda en ésta gama de color.

Dado que en los túneles se distinguen cinco tipos de iluminación, según zonas (entrada, umbral, transición, Interior y salida), hemos previsto que la gama de color escogido pueda ajustarse para que las condiciones lumínicas sean óptimas para cada zona.

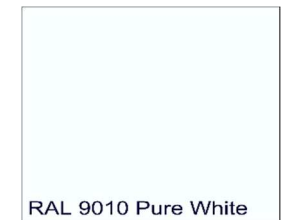


Figura 26. Color RAL 9010

## CONFORT

- El C-Pox W20 HB proporciona ausencia de reflejos, claridad de tono, sin monotonía.
- Permite una rápida visualización de las zonas de emergencia.
- Reflectancia controlada. Con la iluminación propia del túnel, el color RAL 9010 proporciona un 86,8% de reflectancia a la luz.
- El aspecto satinado, medido con un brillómetro en ángulo de 60/60, es del 69%.
- El brillo puede ajustarse en función del sistema de DALI o el sistema TVCC utilizados, para que la imagen en los monitores sea óptima.

## EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO

- Una vez seca la película, el C-Pox W200 HB, presenta un aspecto encapsulado, sin porosidad, evitando así el ensuciamiento de los hastiales.
- Apta para lavados bianuales con agua a alta presión. 1500 a 2000 p.s.i. y detergentes.
- Alta resistencia al cepillado mecánico más de 50.000 ciclos (dobles frotos).
- Fácil reparación y repintado en caso de accidente.
- Permite ser aplicada sobre acero al carbono, acero galvanizado, acero inoxidable, etc., previa imprimación adecuada al tipo de sustrato.

- [Ficha Técnica del C-POX W200 HB](#)
- [Normas y Bibliografía del C-POX W200 HB](#)
- [Ensayos Certificados del C-POX W200 HB](#)
- [Transmisión lumínica – Archivo transmisión lumínica](#)
- [Resistencia al fuego – Archivo certificado al fuego C-POX W200 HB](#)

## 5.5 CONSUMO, VENTAJAS Y AHORRO

ELEMENTO INSTALADOS	CONSUMO ENERGETIVO	VENTAJAS	AHORRO ESTIMADO CONSEGUIDO
Luminarias LED	440 Uds. 130 W/H= 57.200W	Menor consumo y mejor calidad de luz	50% Sobre el actual
Vidrios reflectantes	-	Aprovechamiento de la luz natural	6% Sobre el actual
Sensores en túnel	<p><b>2 Sensores presencia en calzada</b>  <i>Entrada: 220 V +- 10%, 50 Hz Consumo de energía: 3.6 W</i></p> <p><b>4 Sensores presencia peatones</b>  <i>Entrada: 220 V +- 10%, 50 Hz Consumo de energía: 2.0 W</i></p> <p><b>2 Sensores fotoeléctricos en la parte superior del falso túnel, uno en cada entrada</b>  <i>Entrada: 60 V +- 10%, 50 Hz Consumo de energía: 2.0 W</i></p> <p><b>1 Sensor horario</b>  <i>Entrada: 60 V +- 10%, 50 Hz Consumo de energía: 5.0 W</i></p>	Menor consumo, e iluminación adaptada a las necesidades	15% Sobre el actual
Pintura especial para túneles	-	Mejor reflectancia de la luz	6% Sobre el actual
		Total Estimado:	<b>Ahorro del 77% del consumo energético sobre el actual</b>

Tabla 2. Ahorro estimado previsto conseguido

## **6. CONCLUSION**

Tras el estudio realizado, desde el grupo de trabajo se cree que es más que viable aplicar las mejoras explicadas en este trabajo, debido a que el enorme ahorro energético conseguido (76% sobre el consumo energético actual. Ver tabla 2) se traduce es un importante ahorro económico, tan importante en los tiempos actuales para las cuentas públicas.

Además del factor monetario hay que sumarle que con la instalación de las mejoras se obtiene una mejor iluminación que evitaría los numerosos o al menos reduciría los accidentes de tráfico que se producen en este tramo entre vehículos, y entre vehículos y peatones.

Como tercer factor, la imagen del túnel queda renovada y actualizada, con una luz y una imagen de este nuevo siglo, acorde con la imagen atractiva y cosmopolita que se quiere transmitir de la bella ciudad de Málaga.



*Figura 27. Imagen nocturna de la ciudad de Málaga*

## **7. BIBLIOGRAFIA**

### **Tecnologías de la Eficiencia Energética aplicadas al producto**

[1] Folleto iluminación de túneles de PHILIPS [http://www.lighting.philips.es/connect/tools\\_literature/assets/pdfs/philips-folleto-tuneles-esp.pdf](http://www.lighting.philips.es/connect/tools_literature/assets/pdfs/philips-folleto-tuneles-esp.pdf)

[2] Iluminación de Túneles. Indalux. Luminotecnia 2012. *Páginas 19 y 20*

[3] Philips Indal (7 de agosto de 2012) LED Lightning in Tunnels [Vídeo]. Recuperado de Youtube: <http://www.youtube.com/watch?v=ymMhEdySXpY#t=108>

[4] Especificaciones técnicas modelo T-Line. Philips Indal. *Outdoors Lightning Solutions. Página 2.*

[5] Caso de estudio: Iluminación túnel de Zeeburger, Ámsterdam. Philips Indal. *Página 4.*

[6] Caso práctico: Iluminación túnel Upper Thames Street, Londres. Philips Indal.

[7] Historia y evolución de Luxfer & Co. Recuperado de web: <http://www.luxfercylinders.com/about-luxfer#about166>