

SEMINARIO TÉCNICO SOBRE ILUMINACIÓN 2015 Año Internacional de la luz

VIGO, 29 Y 30 DE JUNIO DE 2015
Auditorio del Edificio Municipal del Arenal
(Antiguo Edificio del Rectorado)

MÁS INFORMACIÓN:
<http://iluminaciongalicia.blogspot.com.es>
correodelegaciones1@coiig.es

Organiza:

Asociación de Ingenieros
Industriales de Galicia

INSCRIPCIONES:
<http://bit.ly/1G4XR2>

Colaboran:

Patrocina:



Organiza:

Asociación de Ingenieros
Industriales de Galicia

Iluminación de túneles

Francisco Cavaller
fcavaller@salvi.es



Iluminación de túneles

1. Condiciones de tráfico y visibilidad en túneles de carretera
2. Necesidades de iluminación artificial. Parámetros determinantes
3. Normativa de aplicación
4. Ejemplos de túneles en explotación y análisis
5. Diseño en proyectos de alumbrado de túneles. Propuestas conceptuales, en sección tipo, tecnologías, etc. Ejemplo de cálculo

Iluminación de túneles

1. Condiciones de tráfico y visibilidad en túneles de carretera

¿PORQUÉ SE ILUMINAN LOS TÚNELES?

“Un túnel se ilumina para mantener, mientras se circula por él, las mismas condiciones de seguridad de tráfico existentes en la carretera de acceso al mismo.”

“Un túnel se considera como un local cerrado, de pública concurrencia. Por ello se le deben aplicar las condiciones de seguridad correspondientes a este tipo de locales (CPI, REBT), además de las especificadas expresamente para ellos”

Iluminación de túneles

1. Condiciones de tráfico y visibilidad en túneles de carretera

CONDICIONES DE VISIBILIDAD EN UN TÚNEL

Un túnel no es más que una carretera cubierta. Por tanto, durante la **noche** su iluminación deberá ser similar a ésta



Durante el **día** aparece la circunstancia de que el ojo del conductor está adaptado a la elevada iluminación natural del acceso exterior (hasta 100.000 lux o 6.000 cd/m²). Esta adaptación le hace imposible, mientras se está acercando al portal del túnel, distinguir el interior del mismo y, por tanto, poder reaccionar a tiempo frente a cualquier incidente o retención que ocurra en su interior. Es el efecto “agujero negro”. Para evitar el riesgo que ello comporta debe diseñarse una iluminación interior de refuerzo suficiente para superar el umbral de invisibilidad

Iluminación de túneles

1. Condiciones de tráfico y visibilidad en túneles de carretera

Efecto “AGUJERO NEGRO”



Iluminación de túneles

2. Necesidades de iluminación artificial. Parámetros determinantes

Tipos de Alumbrado

Alumbrado **NORMAL**:

Alumbrado **NOCTURNO**

Alumbrado **DIURNO**

Alumbrado de **SEGURIDAD**

Suficiente para evacuar el túnel con los propios vehículos



Alumbrado de **EMERGENCIA**

A baja altura y suficiente para la evacuación a pie
Galerías evacuación

Iluminación de túneles

2. Necesidades de iluminación artificial. Parámetros determinantes

Tipos de Alumbrado

Alumbrado NOCTURNO:
constante en toda la longitud del túnel

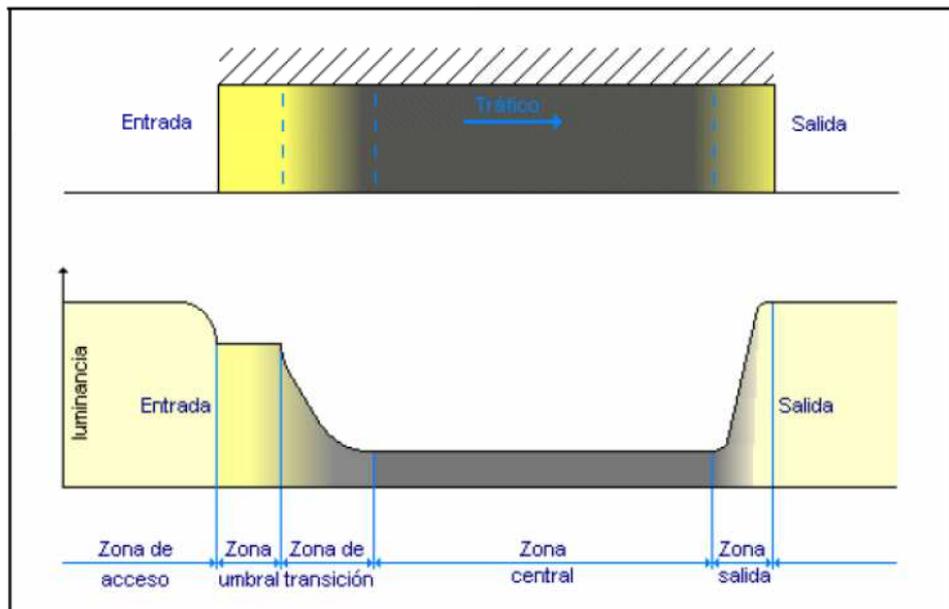


Iluminación de túneles

2. Necesidades de iluminación artificial. Parámetros determinantes

Tipos de Alumbrado

Alumbrado DIURNO:
variable en la longitud del túnel



Iluminación de túneles

2. Necesidades de iluminación artificial. Parámetros determinantes

Parámetros determinantes

“Un túnel no es más que una carretera cubierta.
Por tanto, los parámetros serán los equivalentes a ésta”

13. **Luminancia en un punto de una superficie:** Es la 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 entre metro cuadrado (cd/m^2).

La expresión de la luminancia en un punto P , en función de la intensidad luminosa que incide en dicho punto, de la altura h de montaje de la luminaria y de las características de reflexión del pavimento r (β , $\text{tg } \gamma$), es la siguiente:

Tabla 6 – Series ME de clase de alumbrado para viales secos tipos A y B

Clase de Alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	Luminancia ⁽⁴⁾ Media L_m (cd/m^2) ⁽¹⁾	Uniformidad Global U_o [mínima]	Uniformidad Longitudinal U_L [mínima]	Incremento Umbral TI (%) ⁽²⁾ [máximo]	Relación Entorno SR ⁽³⁾ [mínima]
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3a	1,00	0,40	0,70	15	0,50
ME3b	1,00	0,40	0,60	15	0,50
ME3c	1,00	0,40	0,50	15	0,50
ME4a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,50
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6	0,30	0,35	0,40	15	Sin requisitos

Iluminación de túneles

3. Normativa de aplicación

Normativas específicas para la iluminación de túneles:

- Publicación CIE 88:2004. Guía para el alumbrado de túneles de carretera y pasos inferiores
- UNE-CR 14380:2007 IN. Aplicaciones de iluminación. Alumbrado de túneles
- Dirección General de Carreteras. Orden circular 36/2015, sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles. Tomo II, Recomendaciones para la iluminación de túneles

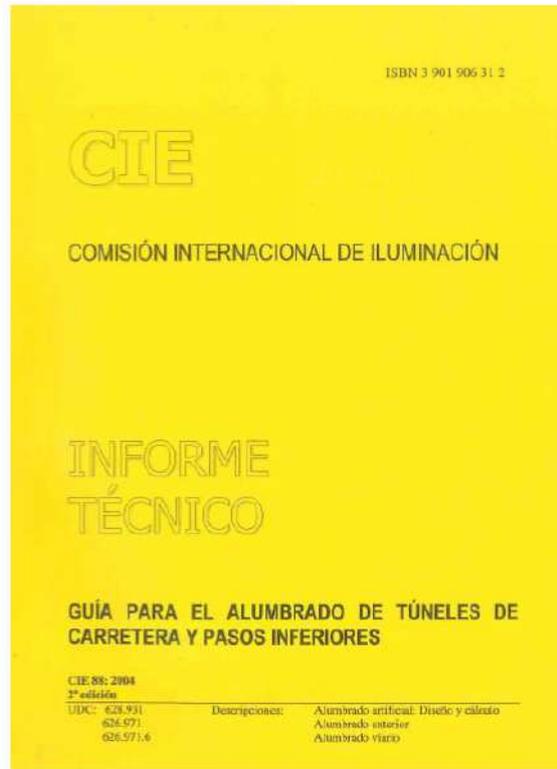
Normativas con alguna referencia a la iluminación de túneles:

- Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado
- 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
- NBE CPI-96 Protecciones de seguridad contra incendios
- Real Decreto 842/2002 REBT Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión

Iluminación de túneles

3. Normativa de aplicación

- Publicación CIE 88:2004. Guía para el alumbrado de túneles de carretera y pasos inferiores



Iluminación de túneles

3. Normativa de aplicación

- UNE-CR 14380:2007 IN. Aplicaciones de iluminación. Alumbrado de túneles

informe **UNE-CR 14380 IN**
UNE

Septiembre 2007

TÍTULO	Aplicaciones de iluminación Alumbrado de túneles <i>Lighting applications: Tunnel lighting</i> <i>Éclairage: Éclairage des tunnels</i>
CORRESPONDENCIA	Este informe es la versión oficial, en español, del Informe CR.14380/2005.
OBSEVACIONES	
ANTECEDENTES	Este informe ha sido elaborado por el comité técnico AEN/CTN 73 Iluminación y Color cuya Secretaría desempeña ANFALUM.

Editorial impresa por AENOR
Deposito legal: M. 40766-2007

© AENOR 2007
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:
AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación
C. Génova, 5
28014 MADRID-España

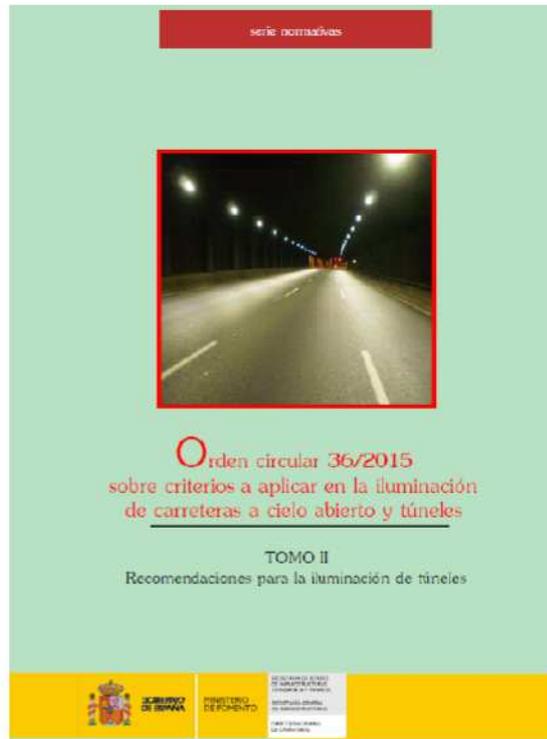
Teléfono: 91 412 40 00
Fax: 91 710 40 12

11 Páginas
Grupo 26

Iluminación de túneles

3. Normativa de aplicación

- Dirección General de Carreteras. Orden circular 36/2015, sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles. Tomo II, Recomendaciones para la iluminación de túneles



Iluminación de túneles

3. Normativa de aplicación

El
libro
blanco
de
la
Ilumi-
nación



La colección del Libro Blanco de la Iluminación consta de 7 volúmenes con sus capítulos correspondientes.

Iluminación de túneles

3. Normativa de aplicación

- Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado

CORRECCIÓN ERRORES REQUISITOS MÍNIMOS SEGURIDAD EN TÚNELES	Real Decreto 635/2006 de 26 de mayo Consolidado agosto 2008
REQUISITOS MÍNIMOS SEGURIDAD EN TÚNELES	
REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado consolidado con la siguiente modificación:	
- CORRECCIÓN de errores del Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.	
SUMARIO:	
CAPÍTULO I. DISPOSICIONES GENERALES	3
Artículo 1. Objeto y finalidad	3
Artículo 2. Ámbito de aplicación	3
Artículo 3. Definiciones	4
Artículo 4. Medidas de seguridad	4
CAPÍTULO II. DETERMINACIÓN DE RESPONSABILIDADES	4
Artículo 5. Autoridad administrativa	4
Artículo 6. Gestor del túnel	5
Artículo 7. El responsable de seguridad	5
CAPÍTULO III. INSPECCIONES PERIÓDICAS DE LOS TÚNELES	7
Artículo 8. Organismos de inspección	7
Artículo 9. Inspecciones periódicas	7
Artículo 10. Inspecciones con informe desfavorable	7
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RIESGO	7
Artículo 11. Análisis de riesgo	7
Artículo 12. Metodología de análisis de riesgo	7
CAPÍTULO V. APLICACIÓN DE TÉCNICAS INNOVADORAS Y PROCEDIMIENTOS DE EXCEPCIÓN	8
Artículo 13. Excepción por técnicas innovadoras o por otras causas	8
Artículo 14. Procedimiento de solicitud de excepción	8
CAPÍTULO VI. INFORMES DE INCIDENCIAS	8
Artículo 15. Informes de incidencias	8
DISPOSICIÓN ADICIONAL PRIMERA. INSPECCIÓN DE TÚNELES DE LA RED DE CARRETERAS DEL ESTADO	9
DISPOSICIÓN ADICIONAL SEGUNDA. INFORMACIÓN EN LOS TÚNELES QUE NO FORMAN PARTE DE LA RED DE CARRETERAS DEL ESTADO	9
DISPOSICIÓN TRANSITORIA PRIMERA. TÚNELES SIN PROYECTO APROBADO	9
DISPOSICIÓN TRANSITORIA SEGUNDA. TÚNELES EN CONSTRUCCIÓN	9
DISPOSICIÓN TRANSITORIA TERCERA. TÚNELES EN SERVICIO	9
DISPOSICIÓN FINAL PRIMERA. TÍTULO COMPETENCIAL	10
DISPOSICIÓN FINAL SEGUNDA. INCORPORACIÓN DE DERECHO DE LA UNIÓN EUROPEA	10
DISPOSICIÓN FINAL TERCERA. DESARROLLO NORMATIVO	10
DISPOSICIÓN FINAL CUARTA. ENTRADA EN VIGOR	10
ANEXO I. MEDIDAS DE SEGURIDAD A QUE SE REFIERE EL ARTÍCULO 4	10
ANEXO II. APROBACIÓN DEL PROYECTO. MANUAL DE EXPLOTACIÓN. AUTORIZACIÓN DE PUESTA EN SERVICIO DE UN TÚNEL. MODIFICACIONES Y SIMULACROS PERIÓDICOS	26

Iluminación de túneles

3. Normativa de aplicación

- 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

RDE/núm. 279 Miércoles, 19 noviembre 2008 45961

REGLAMENTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR

Artículo 1. Objeto.

1. El presente reglamento tiene por objeto establecer las condiciones técnicas de diseño, ejecución y mantenimiento que deben reunir las instalaciones de alumbrado exterior, con la finalidad de:
 - a) Mejorar la eficiencia y ahorro energético, así como la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.
 - b) Limitar el resplandor luminoso nocturno o contaminación lumínica y reducir la luz intrusa o molestia.
2. No es objeto del presente reglamento establecer valores mínimos para los niveles de iluminación en los distintos tipos de vías o espacios a iluminar, que se regirán por la normativa que les sea de aplicación.

Artículo 2. Ámbito de aplicación.

1. Este reglamento se aplicará a las instalaciones, de más de 1 kW de potencia instalada, incluidas en las instrucciones técnicas complementarias ITC-ST del Reglamento electrotécnico para baja tensión, aprobado por Real Decreto 642/2002, de 2 de agosto, siguientes:
 - a) Las de alumbrado exterior, a las que se refiere la ITC-ST 02.
 - b) Las de fuentes, objeto de la ITC-ST 31.
 - c) Las de alumbrado festivo y navideño, contempladas en la ITC-ST 34.
2. A los efectos de este reglamento, se consideran los siguientes tipos de alumbrado:
 - a) Vial (funcional y ambiental).
 - b) Específico.
 - c) Ornamental.
 - d) Vigilancia y seguridad nocturna.
 - e) Señalización luminosa.
 - f) Festivo y navideño.
3. Este reglamento se aplicará:
 - a) A las nuevas instalaciones, o sus modificaciones y ampliaciones.
 - b) A las instalaciones existentes antes de su entrada en vigor, cuando, mediante un estudio de eficiencia energética, la Administración Pública competente lo considere necesario.
 - c) A las instalaciones existentes antes de su entrada en vigor, que sean objeto de modificaciones de importancia y a sus ampliaciones, entendiendo por modificación de importancia aquella que atore o más de 50% de la potencia o luminaria instalada.
4. Se excluyen de la aplicación de este reglamento las instalaciones y equipos de uso exclusivo en áreas militares, regulación de tráfico, balizas, faros, señales marítimas, buques y otras instalaciones y equipos que estuvieran sujetos a legislación específica.

Iluminación de túneles

3. Normativa de aplicación

- Real Decreto 842/2002 REBT Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión

MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA	INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR	ITC-BT-09
		Página 1 de 7

0. ÍNDICE

0. ÍNDICE	1
1. CAMPO DE APLICACIÓN	2
2. ACOMETIDAS DESDE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA COMPAÑÍA SUMINISTRADORA	2
3. DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES	2
4. CUADROS DE PROTECCIÓN, MEDIDA Y CONTROL	3
5. REDES DE ALIMENTACIÓN	3
5.1 Cables	3
5.2 Tipos	3
5.2.1 Redes subterráneas	3
5.2.2 Redes aéreas	4
5.2.3 Redes de control y auxiliares	4
6. SOPORTES DE LUMINARIAS	5
6.1 Características	5
6.2 Instalación eléctrica	5
7. LUMINARIAS	6
7.1 Características	6
7.2 Instalación eléctrica de luminarias suspendidas	6
8. EQUIPOS ELÉCTRICOS DE LOS PUNTOS DE LUZ	6
9. PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS	6
10. PUESTAS A TIERRA	7

MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA	INSTALACIONES EN LOCALES DE PÚBLICA CONCURRENCIA	ITC-BT-28
		Página 1 de 12

0. ÍNDICE

0. ÍNDICE	1
1. CAMPO DE APLICACIÓN	2
2. ALIMENTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE SEGURIDAD	2
2.1 Generalidades y fuentes de alimentación	3
2.2 Fuentes propias de energía	4
2.3 Suministros complementarios o de seguridad	4
3. ALUMBRADO DE EMERGENCIA	5
3.1 Aluminado de seguridad	5
3.1.1 Aluminado de evacuación	5
3.1.2 Aluminado ambiente o anti-pánico	6
3.1.3 Aluminado de zonas de alto riesgo	6
3.2 Aluminado de reemplazamiento	6
3.3 Lugares en que deberán instalarse aluminado de emergencia	7
3.3.1 Con aluminado de seguridad	7
3.3.2 Con aluminado de reemplazamiento	8
3.4 Prescripciones de los aparatos para aluminado de emergencia	8
3.4.1 Aparatos autónomos para aluminado de emergencia	8
3.4.2 Luminaria alimentada por fuente central	8
4. PRESCRIPCIONES DE CARÁCTER GENERAL	9
5. PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS PARA LOCALES DE ESPECTACULOS Y ACTIVIDADES RECREATIVAS	10
6. PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS PARA LOCALES DE REUNIÓN Y TRABAJO	12

Iluminación de túneles

4. Ejemplos de túneles en explotación y análisis

8 Propuestas de mejora de la iluminación de un túnel seleccionado

El objetivo de este apartado es poner en práctica el criterio propuesto, evaluar los costes y comparar los resultados obtenidos con la instalación actual. Para ello se ha escogido uno de los túneles analizados, el túnel D, donde el alumbrado resultó excesivo según la percepción de los conductores. Se hace constar que actualmente este túnel no está nunca funcionando con su alumbrado al 100%, ya que el propio titular de la instalación ha constatado que su alumbrado es excesivo dadas las actuales condiciones de circulación y tráfico.

8.1 Características del túnel seleccionado

- Longitud = 350 m.
- Velocidad máxima de tráfico = 50 km/h.
- Sección tipo formada por calzada de 9,6 m y arcén derecho de anchura variable.
- Pavimento asfáltico R3 Q₀ = 0,07.
- Altura en eje = 6 m.
- IMD (Intensidad Media Diaria) = 84000 veh/día.
- Vehículos pesados: <15%.
- Tráfico unidireccional.
- Sistema de alumbrado simétrico.
- Número de tubos: 2.
- Número de carriles por tubo: 2.
- Trazado: curvo
- Orientación Este - Oeste.

La distancia de parada se calcula de la siguiente manera:

$$SD = u \cdot t_0 + \frac{u^2}{2 \cdot g \cdot (f \pm s)} \Rightarrow SD = \frac{50}{3,6} \cdot 1 + \frac{(50/3,6)^2}{2 \cdot 9,81 \cdot (0,411 + 0)} \Rightarrow SD = 37,81 \text{ m.}$$

8.2 Definición de parámetros luminotécnicos

La luminancia en la zona de acceso se calcula tomando mediciones in situ de las luminancias de las distintas zonas en el campo de visión sacando la media ponderada para un ángulo de 20° en el plano de la zona de acceso.

- Boca de entrada Este:

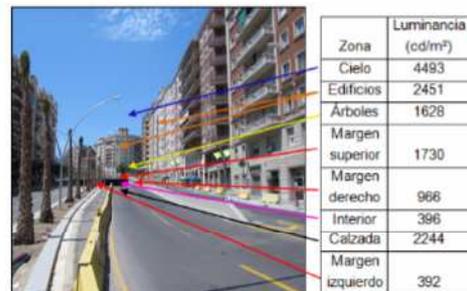


Figura 11. Mediciones luminotécnicas boca entrada Este del Túnel D.



Figura 12. Boca entrada Este del Túnel de D.

Iluminación de túneles

4. Ejemplos de túneles en explotación y análisis

- Boca de entrada Oeste:

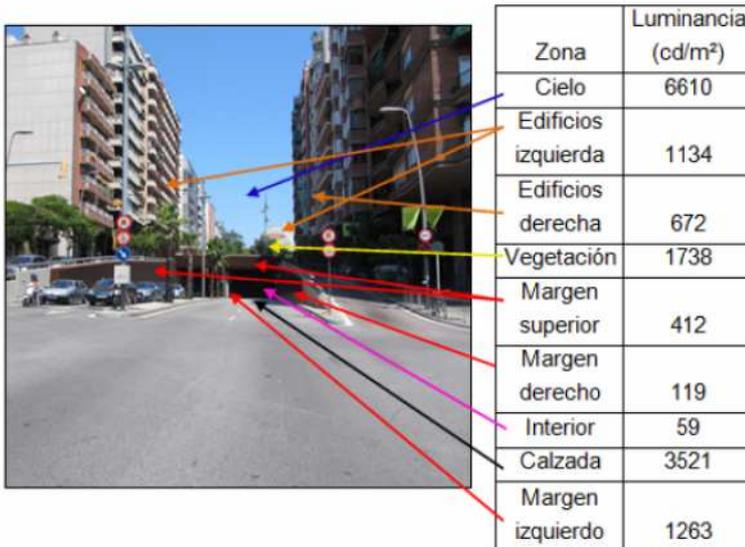


Figura 13. Mediciones luminotécnicas boca entrada Oeste del Túnel D

- Boca de entrada Este:

$$L_{20} = a \cdot L_c + b \cdot L_R + c \cdot L_E = 0\% \cdot 4493 + 25\% \cdot 2451 + 15\% \cdot 1628 + 2\% \cdot 1730 + 5\% \cdot 966 + 10\% \cdot 396 + 38\% \cdot 2244 + 5\% \cdot 392 = 1852 \text{ cd/m}^2$$

- Boca de entrada Oeste:

$$L_{20} = a \cdot L_c + b \cdot L_R + c \cdot L_E = 8\% \cdot 6610 + 2\% \cdot 1134 + 15\% \cdot 1738 + 12\% \cdot 412 + 3\% \cdot 119 + 23\% \cdot 59 + 35\% \cdot 3521 + 2\% \cdot 1263 = 2136 \text{ cd/m}^2$$

Cálculo de la L20 (luminancia zona Acceso)



Figura 14. Boca entrada Oeste del Túnel D con cono visión 20° a escala.

Iluminación de túneles

4. Ejemplos de túneles en explotación y análisis

Determinación de la clase de túnel según la composición e intensidad de tráfico

8.2.1 Determinación de la clase de túnel

Para hallar la luminancia en la zona umbral en primer lugar hay que determinar la clase de túnel según los requisitos de tráfico:

$$IMD = 84000 \text{ veh/día} = \frac{1 \text{ día } 1 \text{ túnel}}{8 \text{ h } 2 \text{ bocas } 2 \text{ carriles}} = 5,250 \text{ veh/hora por carril}$$

(Se considerará según fuentes especializadas que esta intensidad media horaria está calculada para las ocho horas de tráfico con máxima circulación y éstas coinciden en horario diurno).

Tabla 8. Densidad de tráfico. Fuente: UNE-CR 14380 IN. Aplicaciones de iluminación. Alumbrado de túneles. p. 32

Densidad de tráfico (véase definición 3.4.4)	Tráfico unidireccional (vehículos/hora.carril)	Tráfico bidireccional (vehículos/hora.carril)
Alta	> 1500	> 400
Media	500 – 1500	100 – 400
Baja	< 500	< 100

De acuerdo con la tabla anterior al ser el túnel unidireccional y la densidad de tráfico 5.250 veh/hora por carril se trata de una densidad de tráfico alta.

En tabla que sigue se clasifica el túnel según la densidad/intensidad de tráfico. En este caso es la intensidad de tráfico resulta alta y tipo de tráfico se considera motorizado.

Tabla 9. Clases de alumbrado de túneles. Fuente: UNE-CR 14380: 2007 IN. Aplicaciones de iluminación. Alumbrado de túneles. p. 32

Intensidad de tráfico	Alta	Media	Baja
Tipo de tráfico	M A	M A	
Clase de túnel	3 2	2 1	1

Iluminación de túneles

4. Ejemplos de túneles en explotación y análisis

8.2.2 Determinación de la luminancia del tramo umbral

La luminancia en la zona umbral se obtendrá como el porcentaje de la luminancia en la zona de acceso definido por el factor k:

$$L_{th} = k \times L_{20}$$

El factor k será el resultado de entrar en la siguiente tabla con la clase de túnel obtenida (2) y la velocidad de diseño del túnel (50 km/h, lo que corresponderá según esta norma a una distancia de parada de 60 m) para cada sistema de alumbrado. En realidad, el cálculo de la distancia de parada según la norma de trazado de carreteras ofrece un valor inferior, 38 m, pero se ha entrado en esta tabla con el valor mínimo expresado en la misma, 60m.

Tabla 10. Valores recomendados $k = L_{th}/L_{20}$ para diferentes valores de SD y para diferentes clases de túnel. Fuente: Modificado de UNE-CR 14380. 2007. IN. Aplicaciones de Iluminación. Alumbrado de túneles. p. 33

Distancia de parada SD (m)	60	100	160
Clase de túnel			
3	0,05	0,06	0,10
2	0,04	0,05	0,07
1	0,03	0,04	0,05

El factor k resultante será el siguiente:

Distancia de Parada: 60 m Clase 2 Alumbrado Simétrico: $k = 40 ‰$

Finalmente se obtendrá que las luminancias en la zona umbral serán:

Boca Este: $L_{th} = k \times L_{20} = 0,04 \cdot 1852 = 74 \text{ cd/m}^2$

Boca Oeste: $L_{th} = k \times L_{20} = 0,04 \cdot 2136 = 85 \text{ cd/m}^2$

$$L_{th} = L_{20} \cdot 40 ‰$$

8.2.3 Determinación de la luminancia de los tramos de adaptación y su longitud

El tramo de Entrada o Umbral tendrá una longitud con nivel constante de luminancia equivalente a la Distancia de Parada, 60 m. A partir de este tramo Umbral el nivel de luminancia irá decreciendo hasta la zona interior o central del túnel mediante varios tramos, cuya longitud y nivel de luminancia estarán interrelacionados y dependientes de la curva de adaptación.

Para esta clase de túnel 2, se estableció que el nivel de luminancia media en el tramo Interior o Central debe ser al menos de 2 cd/m^2 . Por otra parte, el alumbrado nocturno

Jorge Manuel Fanko Montes
Francisco Cavalier Gall

Determinación de la L_{th} (luminancia zona Umbral) según la CLASE de túnel y la DISTANCIA de PARADA segura

se establece en 3 cd/m^2 , valor superior al que tienen las vías exteriores en las que se accede al mismo.

Tabla 11. Tramos, longitudes y niveles. Boca de entrada Este. Fuente: Elaboración propia.

BOCA DE ENTRADA ESTE		
TRAMO	LONGITUD	Nivel de luminancia
Tramo Umbral 1	45 m	74 cd/m^2
Tramo Umbral 2	15 m	52 cd/m^2
Tramo Transición 1	36 m	30 cd/m^2
Tramo Transición 2	48 m	12 cd/m^2
Tramo Central	144 m	4 cd/m^2
Tramo Salida 1	24 m	12 cd/m^2
Tramo Salida 2	36 m	20 cd/m^2

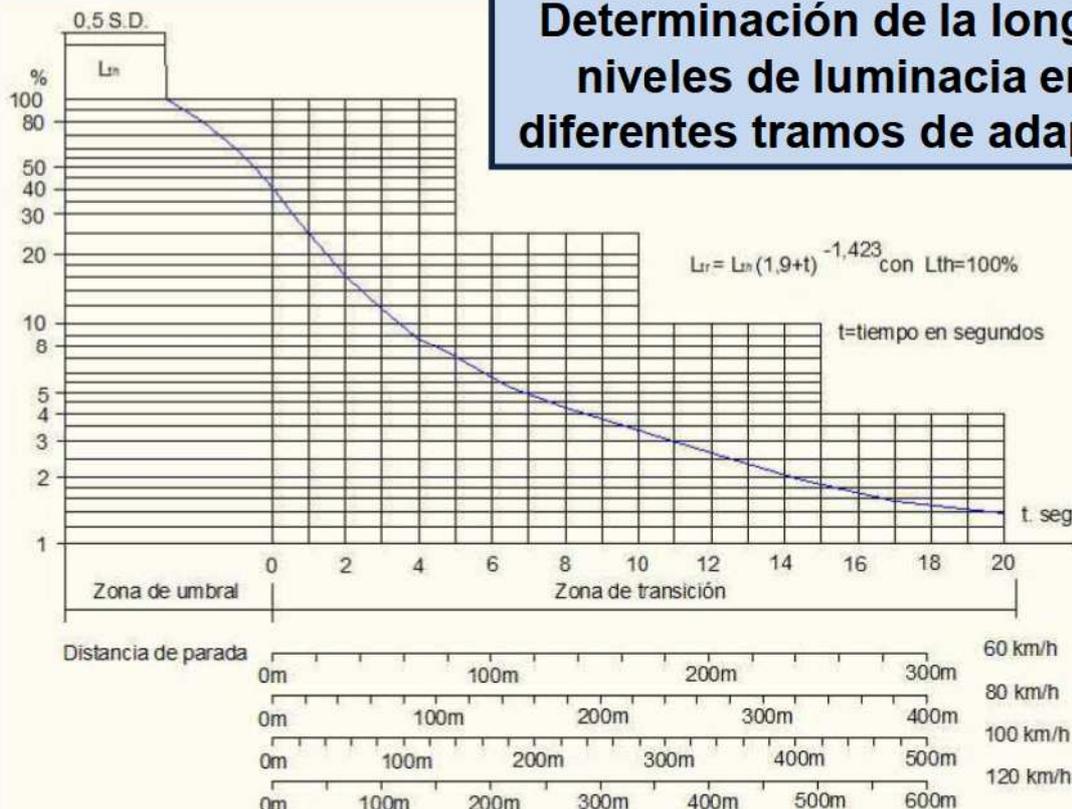
Tabla 12. Tramos, longitudes y niveles. Boca de entrada Oeste. Fuente: Elaboración propia.

BOCA DE ENTRADA OESTE		
TRAMO	LONGITUD	Nivel de luminancia
Tramo Umbral 1	45 m	85 cd/m^2
Tramo Umbral 2	15 m	60 cd/m^2
Tramo Transición 1	36 m	34 cd/m^2
Tramo Transición 2	60 m	12 cd/m^2
Tramo Central	132 m	4 cd/m^2
Tramo Salida 1	24 m	12 cd/m^2
Tramo Salida 2	36 m	20 cd/m^2

Iluminación de túneles

4. Ejemplos de túneles en explotación y análisis

Determinación de la longitud y niveles de luminancia en los diferentes tramos de adaptación



Iluminación de túneles

4. Ejemplos de túneles en explotación y análisis

8.4 Costes y comparación con la instalación existente

Los costes de la propuesta se evaluarán en función del coste energético del consumo de energía eléctrica de la instalación. Este coste energético supondrá a su vez el coste económico del consumo de energía eléctrica y el coste medioambiental por las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera que supone generar esta energía. Asimismo se compararán los costes con la instalación actual.

Se considera un coste de 0.09 €/kWh y los siguientes periodos de funcionamiento:

- Alumbrado nocturno o básico: 4.864 horas/año (24 h/día)
- Alumbrado diurno soleado: 1.112 h/año
- Alumbrado diurno nublado: 649 h/año
- Alumbrado diurno crepuscular: 2.115 h/año

Para el cálculo de emisiones se contemplan los siguientes factores de emisión de gases de efecto invernadero según el Observatorio de Electricidad de Adena WWF de acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente.

- Emisión CO₂ por kWh consumido: 233 Kg/kWh
- Emisión SO₂ por kWh consumido: 383 Kg/kWh
- Emisión NOx por kWh consumido: 313 Kg/kWh

Tabla 13. Costes y comparación con la instalación actual. Fuente: Elaboración propia

Costes		Instalación actual	Propuesta	Ahorros de potencia, energéticos y económicos y beneficios ambientales
Potencia		183.640 W	84.990 W	98.650 W
Costes energéticos		500.089 kW h/año	232.731 kW h/año	267.358 kW h/año
Costes económicos	Coste consumo energía eléctrica (0.09 €/kWh)	45.008 €/año	20.946 €/año	24.062 €/año
	Costes instalación (632 €/ud)	419.648 €	343.808 €	75.840 €
Costes medio-ambientales	Emisiones CO ₂ (0,233 kg/kWh)	117 Tn	54 Tn	63 Tn
	Emisiones SO ₂ (0,383 g/kWh)	192 kg	89 kg	103 kg
	Emisiones NOx (0,313 g/kWh)	157 kg	73 kg	84 kg

Los ahorros podrían ser del 50% de la energía empleada tan sólo aplicando la norma más coherente!

Jorge Manuel Fanlo Montes
Francisco Cavaller Gali

Iluminación de túneles

5. Diseño en proyectos de alumbrado de túneles. Propuestas conceptuales, en sección tipo, tecnologías, etc. Ejemplo de cálculo.



Iluminación de túneles

5. Diseño en proyectos de alumbrado de túneles. Propuestas conceptuales, en sección tipo, tecnologías, etc. Ejemplo de cálculo.

Propuestas conceptuales. Sistema de alumbrado

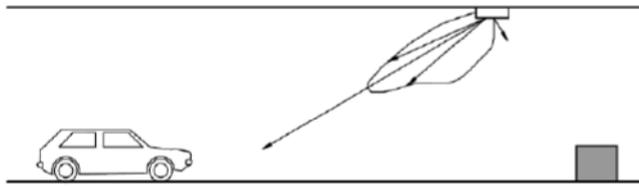


Figura 2.2. Sistema de alumbrado a contraflujo

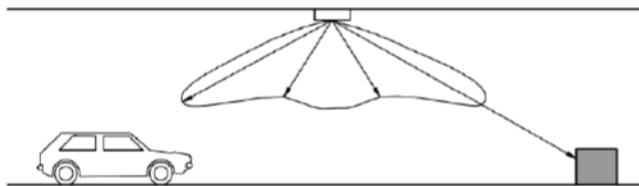


Figura 2.3. Sistema de alumbrado simétrico

Simétrico / Contraflujo:

- El contraflujo provee mayor eficiencia
- El contraflujo necesita un estricto control sobre el pavimento y los hastiales
- El contraflujo, por definición, es viable sólo para túneles unidireccionales
- Casi siempre se emplea el sistema simétrico (contraste positivo)

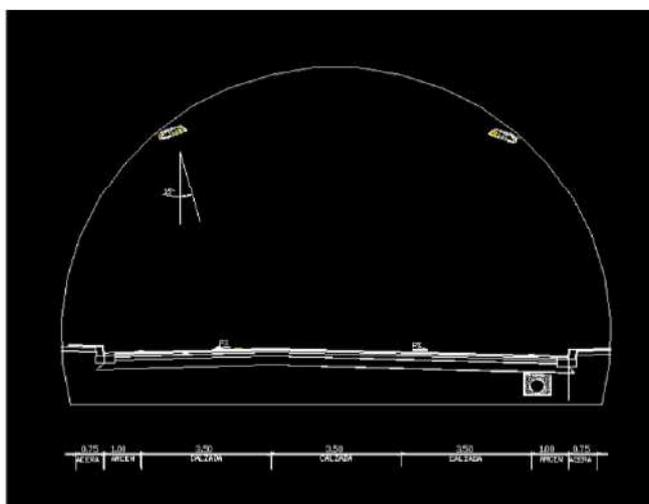
Alumbrado simétrico / Alumbrado a contraflujo



Iluminación de túneles

5. Diseño en proyectos de alumbrado de túneles. Propuestas conceptuales, en sección tipo, tecnologías, etc. Ejemplo de cálculo.

Propuestas conceptuales. En sección tipo



Criterio:

- Cubrir toda la sección tipo de forma uniforme
- Guiar correctamente el tráfico
- Proveer un mantenimiento sencillo

Usualmente:

- Bidireccional: doble fila de luminarias
- Más de dos carriles: doble fila de luminarias
- Resto: una fila en eje carril izquierdo o exterior curva

Situación proyectores en la sección tipo



Iluminación de túneles

5. Diseño en proyectos de alumbrado de túneles. Propuestas conceptuales, en sección tipo, tecnologías, etc. Ejemplo de cálculo.

Equivalencia flujo lumínico fuentes de luz aplicadas a luminarias

TECNOLOGÍA					
DESCARGA V. SODIO		DESCARGA HALOG. METÁLICOS		LED	
Potencia	Flujo	Potencia	Flujo	Potencia	Flujo
400W	55.000 lm	400W	36.000 lm	280 W	38.640 lm
250 W	33.000 lm	250 W	21.000 lm	154 W	21.868 lm
150 W	17.000 lm	150 W	14.000 lm	82 W	11.890 lm
100 W	10.500 lm	100 W	8.000 lm	56 W	8.288 lm
70 W	8.000 lm	70 W	5.400 lm	42 W	6.300 lm
50 W	4.800 W	50 W	4.000 lm	28 W	4.200 lm
		35 W	3.000 lm	18 W	2.680 lm

Comparando fuentes de luz:
Descarga 90-130 lm/W ↔ 100-150 lm/W LED



Iluminación de túneles

5. Diseño en proyectos de alumbrado de túneles. Propuestas conceptuales, en sección tipo, tecnologías, etc. Ejemplo de cálculo.

Reflectores evolucionados para lámparas de descarga

ÓPTICAS



REFLECTOR	Micro AIRTECH®	Mid AIRTECH®	MAX AIRTECH®
LUMINARIA	IDEA 500 / IDEA PR 500	IDEA 700 / IDEA PR 700	IDEA 900 / IDEA PR 900
PROTECCIÓN/RENDIMIENTO	IP 67 η 77%	IP 67 η 87%	IP 67 η 87%
LÁMPARAS	VSAP 50-70W / HM 35W-150W	VSAP / HM 70W-100W-150W-250W	VSAP / HM 250W-400W-600W



Los reflectores para lámparas de descarga pueden usar “bien” un 70% de la luz emitida por la lámpara

Parte de la luz (30%) sale de la luminaria “sólo controlada” por el vidrio de cierre. El flujo saliente sufre pérdidas por reflexiones internas y por la transmitancia del vidrio. Por tanto el “rendimiento” de una luminaria de descarga puede alcanzar el **85-70%**



Iluminación de túneles

- 4. Diseño en proyectos de alumbrado de túneles. Propuestas conceptuales, en sección tipo, tecnologías, etc. Ejemplo de cálculo.

Lentes para diodos LED



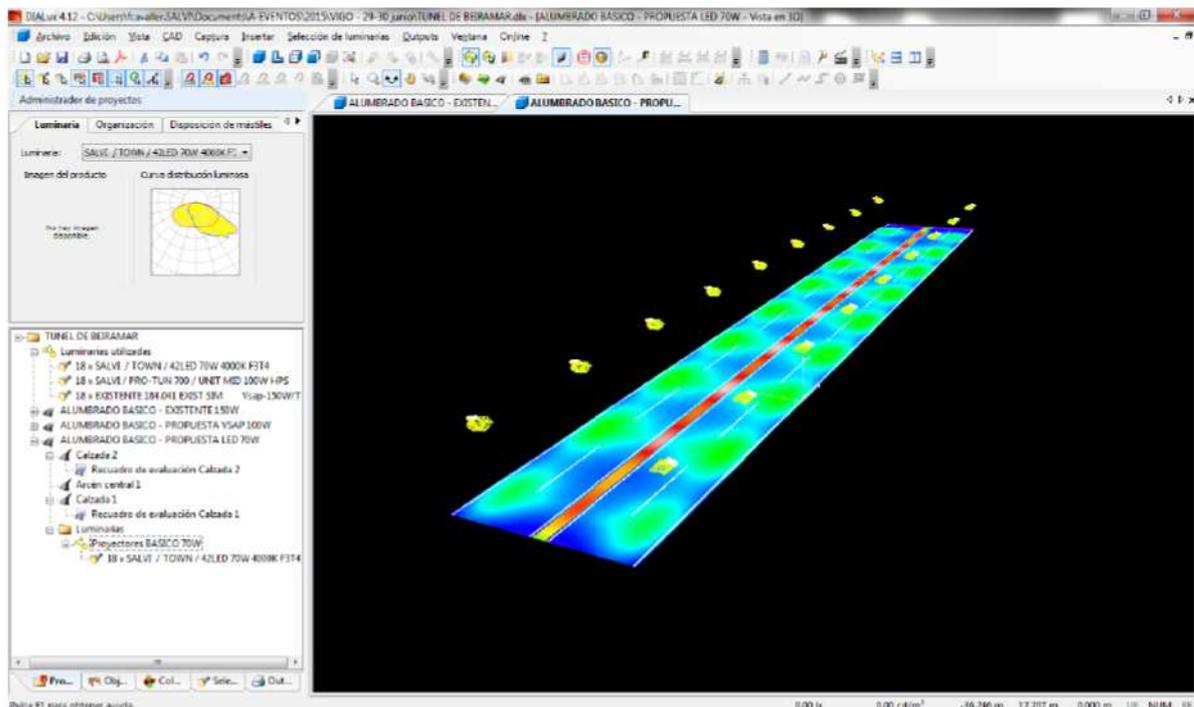
Empleando LED el 100% de la luz emitida “puede ser bien” aprovechada

Toda la luz (100%) sale de la luminaria “controlada” por la lente. Si la fotometría es relativa a la luz “saliente” de la luminaria, entonces su rendimiento alcanza el **100%**.

Iluminación de túneles

- 5. Diseño en proyectos de alumbrado de túneles. Propuestas conceptuales, en sección tipo, tecnologías, etc. Ejemplo de cálculo.

¿Lámparas de descarga o fuentes de luz LED?
A calcular...



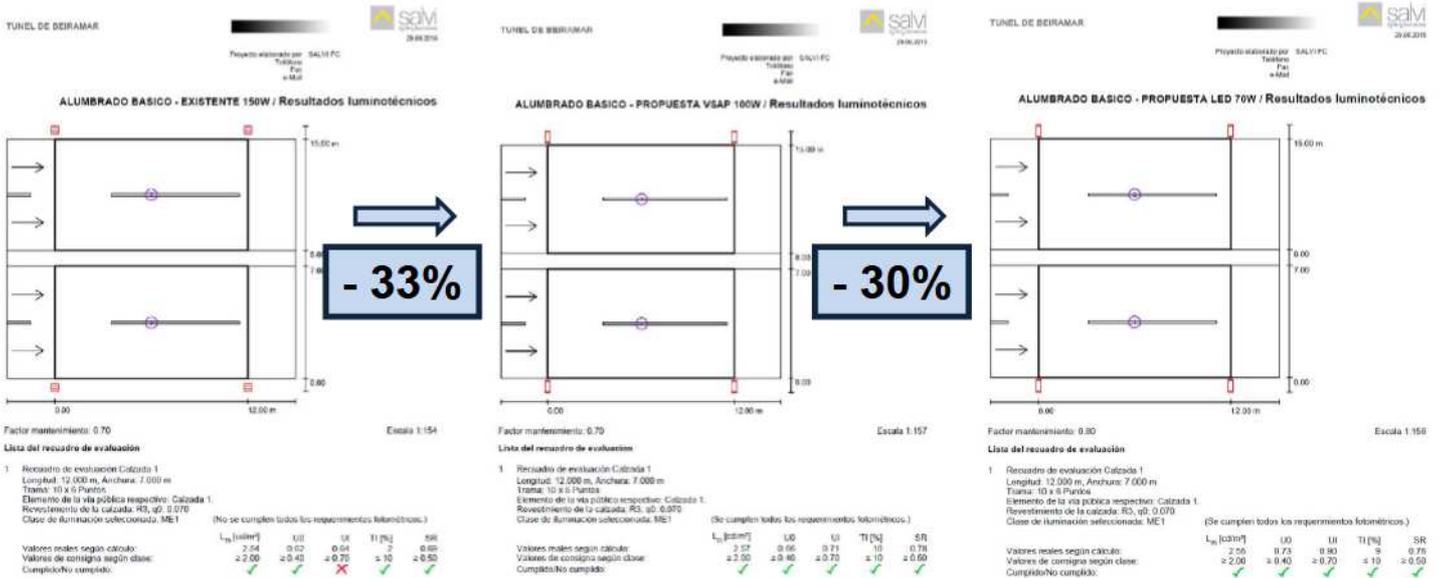
Iluminación de túneles

5. Diseño en proyectos de alumbrado de túneles. Propuestas conceptuales, en sección tipo, tecnologías, etc. Ejemplo de cálculo.

Actual (Vsap 150W)

Propuesta 1 (Vsap 100W)

Propuesta 2 (Led 70W)



Iluminación de túneles

5. Diseño en proyectos de alumbrado de túneles. Propuestas conceptuales, en sección tipo, tecnologías, etc. Ejemplo de cálculo.

Cálculo de eficiencia energética



RESUMEN DE LOS RESULTADOS LUMÍNICOS Y ENERGÉTICOS

TÚNEL BEIRAMAR

Opción: 300W

DATOS DE LA INSTALACIÓN

Luminaria: TDM 4x2LED 10W
 Grupo Óptico: F214
 Tipo instalación: 800mm/300mm
 Altura luminaria: 5,5 m
 Interdistancia: 12 m
 Factor de mantenimiento: 0,80

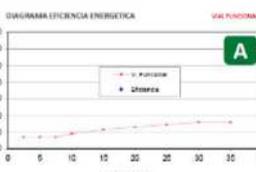
RESULTADOS LUMÍNICOS

Área estudiada	Clase de alumbrado	Em [lux]	U ₀	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆	U ₇	U ₈	U ₉	U ₁₀
calzada	M02	69	61	0,84	2,55	0,79	0,90	9	0,79				

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

Área de trabajo [m ²]	Brightness media [lx]	Potencia instalada [W]
180	48	77

Factor utilización: Utilizada: 0,61, ICE: 1,56



Fecha: 25/06/2015
 Nº proyecto: 1

Calificación Energética	Índice de consumo energético	Índice de Eficiencia Energética
A	ICE < 0,91	ie > 1,1
B	0,91 ≤ ICE < 1,09	1,1 ≥ ie > 0,92
C	1,09 ≤ ICE < 1,35	0,92 ≥ ie > 0,74
D	1,35 ≤ ICE < 1,79	0,74 ≥ ie > 0,56
E	1,79 ≤ ICE < 2,63	0,56 ≥ ie > 0,38
F	2,63 ≤ ICE < 5,00	0,38 ≥ ie > 0,20
G	ICE ≥ 5,00	ie ≤ 0,20



Consumo energético anual: 337,26 kWh/año

Emissiones anuales: 0,1669 tCO₂/año

Costo anual: 37 € (Precio 0,11 €/kWh)

* Datos para 1 metro de luz



SEMINARIO TÉCNICO SOBRE ILUMINACIÓN 2015 Año Internacional de la luz

VIGO, 29 Y 30 DE JUNIO DE 2015
Auditorio del Edificio Municipal del Arenal
(Antiguo Edificio del Rectorado)

MÁS INFORMACIÓN:
<http://iluminaciongalicia.blogspot.com.es>
correodelegaciones1@colig.es

Organiza:

Asociación de Ingenieros
Industriales de Galicia

INSCRIPCIONES:
<http://bit.ly/1GHXR2>

Colaboran:

Patrocina:



Organiza:

Asociación de Ingenieros
Industriales de Galicia

MUCHAS GRACIAS

Iluminación de túneles

Francisco Cavaller
fcavaller@salvi.es



