

Universidad Internacional del Ecuador



Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz

Trabajo de Integración Curricular

Artículo Investigación para la obtención del Título de Ingeniera en Mecánica Automotriz

**ANÁLISIS DE DESLUMBRAMIENTO EN TÚNELES EN RELACIÓN AL ÁREA DE
VISUALIZACIÓN**

Henry Rodrigo Polanco Monteros

Alex Fernando Dalgo Sánchez

Jesús Alberto Blacio Aguilar

Director: Msc. Gorky G. Reyes C.

Quito, Julio 2021

CERTIFICACION

Nosotros, Henry Rodrigo Polanco Monteros, Alex Fernando Dalgo Sánchez, Jesús Alberto Blacio Aguilar, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



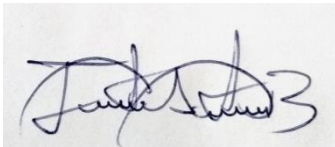
Henry Rodrigo Polanco Monteros

172043422-2



Alex Fernando Dalgo Sánchez


172419766-8



Jesús Alberto Blacio Aguilar

075022825-6

Yo, Guillermo Gorky Reyes Campaña, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Guillermo Gorky Reyes Campaña

040126676-2

DEDICATORIA

Un sueño que siempre quise cumplirlo, un deseo plasmado durante muchos años por una sola pasión al mundo motor, hoy se vuelve una realidad. El camino no ha sido fácil, un camino lleno de alegrías y decepciones, momentos buenos y malos; que me han forjado profesionalmente para poder superar todos los obstáculos en el camino, tiempos que me han hecho conocer el verdadero significado de la familia. Recuerdo alguna vez me dijeron mis padres algo que me ha servido como lección de vida “lo único que te va a servir en la vida es ser un profesional” los amigos son solo pasajeros, palabras que hoy las vuelvo a recalcar y que en verdad fueron acertadas que me han hecho darme cuenta que la familia siempre estará en las buenas y en las malas.

Este trabajo se lo dedico en primer lugar a Dios, quién ha escuchado mis oraciones en los tiempos difíciles, por darme una nueva oportunidad de vida otorgándome salud y sabiduría para poder cumplir una de mis metas, cuidándome con sus bendiciones en todos los pasos firmes que doy, a mi familia un pilar fundamental en mi desarrollo profesional, en especial a mi esposa Priscila y mi pequeña hija Doménica, quien nunca dudaron de mis capacidades, y siempre supieron apoyarme en todas mis decisiones, motivándome y dándome palabras de aliento cuando las cosas se ponían complicadas, créanlo tiempos mejores vendrán en nuestro hogar; este logro lo dedico de corazón a mi madre “Mariani” como le digo de cariño, quien siempre estuvo apoyándome en todas las circunstancias y a pesar de todas las decepciones del pasado, nunca dudo en apoyarme para concluir con este sueño, comprendiendo el verdadero amor de una madre; a mi hermana Erika Polanco que con sus palabras de ánimo me motivaron a que pueda dar un paso grande en la finalización de mi carrera, a mi padre Rodrigo por el apoyo brindado con sus sabios consejos me han servido para guiarme por el camino del bien y poder crecer como un profesional íntegro con ética y valores.

-Henry Rodrigo Polanco Monteros

DEDICATORIA

Es increíble saber que una etapa más de mi vida a llegado a su fin durante todo este tiempo desde que inicié mi carrera, se me presentaron muchos obstáculos, y en donde hubo muchos momentos a lo largo de este recorrido en los que quise renunciar, pero una de mis metas de vida es culminar mis estudios, pero supe salir adelante con esfuerzo y dedicación por eso quiero dedicar este trabajo en primer lugar a Dios por darme la vida y la salud a lo largo de estos años acompañándome a cumplir esta meta tan importante en mi vida profesional.

A mis padres y hermanos por ser mi principal apoyo y pilares, de manera muy en especial a mi Madre Susana Sánchez quien nunca dejo de apoyarme desde el principio hasta el final y de confiar en mí y en mis capacidades y habilidades de que, si podía hacerlo, y le pido perdón por todos los dolores de cabeza que le he dado sin ti nada hubiera sido posible. A mi padre Carlos Dalgo al enseñarme sus valores del trabajo duro y nunca rendirse, que si obras bien con trabajo honesto te ira bien en la vida. A mi hermando Andrés, porque siempre ha compartido conmigo sus conocimientos y sus palabras de sabiduría, es un gran ejemplo para mí como persona y profesional, y a mi hermana Verónica Dalgo por apoyarme en todo.

-Alex Fernando Dalgo Sánchez

DEDICATORIA

Me parece sorprendente que una etapa más de mi vida haya llegado a su fin, inicié mi carrera universitaria con mucho valor, disciplina y sobre todo con ganas de culminarla con buenas calificaciones, fueron 5 largos años donde en su recorrido se me presentaron muchos obstáculos y en donde hubo momentos en los que quise renunciar debido a la gravedad de las cosas, pero supe salir adelante gracias a los valores que se me inculcaron desde mi casa, es por ello que quiero dedicar este trabajo a las 6 personas más importantes en mi vida mis padres Hugo Blacio, Letty y Melva Tituaña Aguilar por apoyarme desde mi nacimiento hasta el día de hoy porque ustedes papa, mama y abuelita me enseñaron a no rendirme por más dura que sea la situación, por enseñarle a siempre buscar una solución y por no dejarme rendir ante las circunstancias de la vida, gracias a ustedes porque desde que tengo memoria nunca me ha faltado un plato de comida en mi mesa, a mi esposa Judith Raura ya que siempre apoyo y ayudo desde el momento en que nos conocimos, a mi hija Samantha Blacio que tiene pocos días de nacida y desde que supe de su existencia mis motivos para seguir adelante y esforzarme cada día más aumentaron, quiero que mi hija se sienta orgullosa de su padre siempre.

-Jesús Alberto Blacio Aguilar

AGRADECIMIENTO

Siempre agradecer a Dios quién ha estado cuidándome en todos los pasos que doy, brindándome salud y sabiduría para saber tomar las decisiones correctas. Gracias a mi querida universidad Internacional del Ecuador por permitirme convertirme en ser un profesional en la carrera que tanto anhelaba y que me apasiona, gracias a cada uno de los docentes que con su sabiduría supieron nutrir de conocimientos para la formación integral profesional en la carrera de Ingeniería Automotriz, al personal Directivo y Administrativo que con su esfuerzo a diario hacen que sea una institución de alto reconocimiento a nivel nacional e internacional. No podía dejar pasar por alto al Ingeniero Gorky Reyes, docente y tutor de la Facultad de Ingeniería Automotriz quien con sus valiosos conocimientos supo guiar de manera oportuna a la culminación de este trabajo de investigación. Finalmente agradecer a mi esposa e hija que han sido mi combustible para dar vida a la culminación de esta meta, a mis padres que son mi motor y vida en el desarrollo de mis sueños.

-Henry Rodrigo Polanco Monteros

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a Dios por ayudarme a cumplir uno de mis sueños que fue la culminación de mi carrera en Ingeniería Automotriz.

Quiero agradecer a mi madre por darme la oportunidad de estudiar lo que siempre me apasiono. A mis padres por todo el apoyo brindado y el impulso que me dieron para culminar mis estudios, siempre estuvieron presentes con sus consejos me supieron guiar por el buen camino con honradez y sabiduría.

Agradezco a la Universidad Internacional del Ecuador, a la Facultad de Ingeniería Automotriz y a todos los docentes, que, a más de impartir cátedras espectaculares con un alto grado de conocimiento científico, pero sobre todo una gran calidad humana se han convertido en amigos ya que nos han aconsejado y relatado sus experiencias personales en el campo laboral, quiero decirles muchas gracias, siempre los tendré en mente.

Al Decano de la Facultad de Ingeniería Automotriz al Ingeniero Andrés Castillo, una gran persona por sus consejos impartidos y por ser un excelente docente.

Al Ingeniero Gorky Reyes, profesor y tutor de la Facultad de Ingeniería Automotriz por su apoyo, guía y estar al tanto de todo este proceso para la finalización de este proyecto de investigación.

Finalmente agradezco a mis compañeros y amigos, quienes tuvieron un lugar importante a lo largo de este proceso de formación profesional.

-Alex Fernando Dalgo Sánchez

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a Dios por a pesar de que no pudo verlo creo en él y sé que gracias a el estoy donde estoy, agradecer a mis padres Hugo Blacio y Letty Aguilar por darme la oportunidad de estudiar lo que siempre me apasiono en una de las mejores universidades del país en la Universidad Internacional Del Ecuador por su apoyo a lo largo de mi vida y carrera, a mi abuelita Melva Tituana porque siempre estuvo pendiente de mí y dándome fuerzas para seguir adelante, a mi esposa Judith Raura ya que siempre apoyo y ayudo desde el momento en que nos conocimos, a mi hija Samantha Blacio que tiene pocos días de nacida y desde que supe de su existencia mis motivos para seguir adelante y esforzarme cada día más aumentaron, quiero que mi hija se sienta orgullosa de su padre, a mi tía Vilma que es como mi hermana ya que siempre cuando me sentía solo, ella me apoyo y guio por el buen camino en tiempos de dificultad, a mis hermanos Tatiana Blacio y Kevin Aguilar quienes en parte contribuyeron a mi desenvolvimiento dentro de mi carrera universitaria y vida; quiero también agradecer a Universidad Internacional Del Ecuador por todos los conocimientos que adquirí . Al Ingeniero Gorky Reyes, profesor y tutor de la Facultad de Ingeniería Automotriz (F.I.A.) por su apoyo y guía en todo el tiempo que llevo la elaboración del artículo de titulación.

-Jesús Alberto Blacio Aguilar

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACION	I
DEDICATORIA	III
DEDICATORIA	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
AGRADECIMIENTO	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1.- INTRODUCCIÓN.....	2
2.- MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES	3
3. MATERIALES Y MÉTODOS	6
3.1. MÉTODO	6
3.2 MATERIALES	6
3.2.1. Lugar de pruebas.....	6
3.2.2. Velocidad.....	7
3.2.3. Equipo de medición	7
3.2.4. Normativa	8
4. RESULTADOS Y DISCUSION	8
4.1. DATOS DE ENTRADA	8
4.2. PRUEBAS DE ILUMINACIÓN.....	8
4.2.1. Túnel.....	9
4.3 PRUEBA DE DESLUMBRAMIENTO	10
5. CONCLUSIONES	11
6. BIBLIOGRAFIA	11
7. ANEXOS.....	13
ANEXO 1:	14
HTTPS://WWW.LAVANGUARDIA.COM/VIDA/20200103/472677634682/LICITAN-LA-ADECUACION-DEL-TUNEL-DE-SAN-JUAN-A-70-POR-3126-MILLONES.HTML	14
ANEXO 2: MÉNDEZ (2020). DISEÑO DE UN PLAN DE MEJORA BASADO EN LA CLAUSULA 8 DE LA NORMA ISO14001 PARA EL TÚNEL EL CERRO EL CARMEN.	15
ANEXO 3:	25
HTTPS://WWW.ELUNIVERSO.COM/2005/08/09/0001/12/9FF1875E56F746FB965E58ACA6A173F1.HTML L/	25
ANEXO 4:	27
HTTPS://WWW.ELUNIVERSO.COM/GUAYAQUIL/2018/04/25/NOTA/6730986/MAS-RADARES-TUNELES-PUENTES-INFRACCIONES/	27
ANEXO 5:	29
FUENTE: HTTPS://WWW.ANT.GOB.EC/	29
ANEXO 6	30
ANEXO 7:	34

HTTPS://PERIODISMOENBICICLETA.COM/2019/01/17/CUALES-SON-LAS-PRINCIPALES-DISPOSICIONES-DE-LA-LEY-DE-TRANSITO-EN-ECUADOR/	34
ANEXO 8:	44
HTTPS://WWW.SEGURIDADENTUNELES.COM/2011/08/03/ILUMINACION-DE-EMERGENCIA-Y-SEGURIDAD-EN-TUNELES-CARRETEROS/	44
ANEXO 9:	51
MINISTERIO DE FOMENTO DEL GOBIERNO DE ESPAÑA (2015).	51
ANEXO 10:	67
CANSINOS (2015). GUÍA DE ILUMINACIÓN EN TÚNELES E INFRAESTRUCTURAS SUBTERRÁNEAS.	67
ANEXO 11:	108
NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, INC. UNA BATTERYMARCH PARK QUINCY, MASSACHUSETTS 02269 (2001). ESTANDAR DE LOS TÚNELES DE CARRETERA, PUENTES, Y OTRAS CARRETERAS DE ACCESO LIMITADO.	108

ÍNDICE DE TABLAS

<i>TABLA 1. NORMATIVAS A CUMPLIR EN TÚNELES.....</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
<i>TABLA 2. NORMATIVAS CON REFERENCIA A LA ILUMINACIÓN DE TÚNELES.....</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
<i>TABLA 3.DISTANCIA DE PARADA.....</i>	<i>8</i>
<i>TABLA 4. VALORES CÁLCULO L20</i>	<i>9</i>
<i>TABLA 5. VALORES LTH.....</i>	<i>9</i>
<i>TABLA 6. VALORES LTR.....</i>	<i>10</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Efecto de Agujero negro	4
Ilustración 2. Deslumbramiento	5
Ilustración 3. Túnel Cerro Santa Ana	6
Ilustración 4. Túnel Guayasamín	7
Ilustración 5. Túnel San Juan	7
Ilustración 6. Velocidad ingreso túnel	7
Ilustración 7. Prueba de medición	7
Ilustración 8. Equipo de medición	8
Ilustración 9. Parámetros túnel Santa Ana	9
Ilustración 10. Zona de Lumbral Lth	9
Ilustración 11. Iluminación túnel	10
Ilustración 12. Comparativa iluminación natural con iluminación artificial	10

INDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1	8
ECUACIÓN 2	9
ECUACIÓN 3	9

ANÁLISIS DE DESLUMBRAMIENTO EN TÚNELES EN RELACIÓN AL ÁREA DE VISUALIZACIÓN

Henry Polanco¹, Fernando Dalgo S.², Alberto Blacio³, Ing. Gorky Reyes C MSc.

¹ Ingeniería Automotriz -Universidad Internacional del Ecuador, hepolancomo@uide.edu.ec

² Ingeniería Automotriz -Universidad Internacional del Ecuador, aldalgosa@uide.edu.ec

³ Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, jeblacioag@uide.edu.ec
Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, qureyesca@uide.edu.ec

RESUMEN

INTRODUCCIÓN: En el siguiente artículo se presenta una investigación relacionada con el deslumbramiento en túneles en relación al área de visualización, ya que existen una serie de variables que actúan como fenómenos o causas que pueden llegar a causar el deslumbramiento en los túneles, el artículo está compuesto por el desarrollo de métodos, teorías, cálculos y estudios en tiempo real. **METODOLOGÍA:** para la presente investigación se tomó en cuenta dos parámetros importantes la iluminación que tienen los túneles internamente de manera vertical en relación a la iluminación que entregan los vehículos de manera horizontal y el deslumbramiento que existe al final del túnel. Tomando en cuenta estos parámetros se realizó una investigación exploratoria descriptiva esto significa que se realizó ensayos de campo según normativa NFPA 502, y la normativa Técnica de Carreteras de España 36/2015. **RESULTADOS:** Se realizaron pruebas de campo en los puntos finales de los túneles. Los datos de entrada para las evaluaciones se estandarizaron en los 3 túneles propuestos. Los valores de iluminación interna, no cumple con la normativa, de (8000 cd/m^2), pero se mantiene en el rango establecido de 3000 a 8000, esto significa que cumple con lo estipulado en iluminación en ambientes cerrados, pero no cumplen con normas internacionales como la Norma UNE-EN CR 14380:2007 “aplicaciones de iluminación. Alumbrado en túneles”

Conclusión: Cada túnel presenta su iluminación de manera independiente, donde se puede apreciar que el túnel Guayasamín es el que presenta menor iluminación en el tramo de salida, tomando en cuenta que es un túnel de doble sentido, con una deficiencia del 25,8%, respecto al túnel de Santa Ana y del 11,26% respecto al túnel San Juan.

Palabras claves: deslumbramiento, túneles, zona lumbral, iluminación, visualización.

ABSTRACT

INTRODUCTION: The following article presents an investigation related to glare in tunnels in relation to the viewing area, since there are a series of variables that act as phenomena or causes that can cause glare in tunnels, the article is composed of the development of methods, theories, calculations and studies in real time **METHODOLOGY:** for the present investigation, two important parameters were taken into account: the lighting that the tunnels have internally vertically in relation to the lighting that the vehicles deliver horizontally and the glare that exists at the end of the tunnel. Taking these parameters into account, a descriptive exploratory research was carried out, this means that field tests were carried out according to NFPA 502 regulations, and the Technical Highways regulation of Spain 36/2015 **RESULTS:** Field tests were carried out at the end points of the tunnels. The input data for the evaluations were standardized in the 3 proposed tunnels. The internal lighting values do not comply with the regulations, of (8000 cd / m^2), but it remains in the established range of 3000 to 8000, this means that it complies with the provisions for lighting in closed environments, but does not comply with regulations international standards such as the UNE-EN CR 14380: 2007 “lighting applications. Tunnel lighting” **Conclusion:** Each tunnel present sits light tingingin dependently, whereit can be

seenthatthe Guayasamín tunnelistheonewiththeleastlighting in theexitsection, takingintoaccountthatitis a two-waytunnel, with a deficiencyof 25.8%, withrespecttotothe Santa Ana tunnel and 11.26% withrespecttotothe San Juan tunnel.

Keywords: glare, tunnels, lumbral zone, illumination, visualization.

1.-INTRODUCCIÓN

Al existir diferentes tipos de túneles al momento de ingresar a estos espacios cerrados la claridad interna que existe dentro de estos no compensa con la luminancia exterior, la luminosidad es un factor importante para estar pendientes del entorno que se encuentran alrededor de ciertos lugares cerrados, por tal motivo la presente investigación analizó cuales son las diferentes causas de deslumbramiento que puede tener el conductor al momento que circula por el lugar, en relación a las variables existentes como velocidad, iluminación del túnel, luces del vehículo, ancho de la vía y puntos de circulación peatonal. El presente estudio analizó la incidencia de deslumbramiento que existe al momento que una persona sale de estos lugares cerrados llamados túneles.

Se realizará un estudio en los túneles existentes el cual mediante un equipo calibrado que cumpla con las normativas vigentes, el presente proyecto busca analizar la incidencia de deslumbramiento en condiciones dinámicas dentro de los túneles, y como afecta a la salud visual al existir este choque de luz, de la misma manera se analizará las variables que influyen en el mejoramiento de visualización al cambio de luz artificial al natural.

Los efectos que causa el deslumbramiento en la salud humana está asociado a una iluminación inadecuada lo cual ocasiona fatiga ocular, cansancio en nuestro cuerpo, estrés y hasta dolores de cabeza [1], para disminuir estos cambios bruscos de luz los cuales son un factor peligroso existen normativas como la CIE 88: 2004 la cual determina la luminosidad interna en los túneles gracias a esta normativa se puede

reaccionar a tiempo frente a cualquier incidente o retención que ocurra en el interior de los túneles [1].

El problema visual en un túnel es el de la adaptación del ojo humano desde las elevadas luminancias exteriores durante el día, a las bajas luminancias que existen en el interior de los túneles [2]. Todo ello da lugar al conocido efecto agujero negro que impide, durante el día, que los conductores vean en el interior del túnel cuando se encuentran a una determinada distancia de la boca de entrada del mismo [3]. Solo entre los años 2008 y 2013 cubrieron los partes de 12.077 accidentes. En el 4,4% de ellos destacaron que la “iluminación insuficiente” en la vía fue uno de los factores que influyeron en el siniestro. Detrás de este balance hay 531 choques, atropellos y salidas de pista que dejaron 21 muertos, 73 heridos graves, 804 leves y 865 vehículos involucrados [4].

Un artículo en el comercio determina que muchos de los conductores que ingresan al túnel de San Diego tienen la percepción de una oscuridad total, en el centro de Quito, donde, las luminarias están dañadas. El túnel, junto al de San Roque, son vitales para la movilidad en la urbe, pues conectan el norte con el sur de la ciudad. En ellos se movilizan a diario un promedio de 25.000 vehículos [5]. Para usuarios frecuentes, la situación genera problemas de visibilidad y puede ocasionar accidentes graves. Sobre todo, en las noches, es preocupante. Algunas personas vienen en sentido contrario con las luces intensas produciendo encandilamiento, perdiendo visibilidad, porque este túnel no tiene una división que separe los dos carriles de ida y los dos de regreso, como los otros.[5]. Por tal motivo es importante realizar este tipo de análisis para que exista una ordenanza

municipal o una reingeniería de la iluminación interna de los túneles para evitar accidentes tanto dentro como fuera de los túneles.

Para el presente estudio se analizará todas las variables que influyen en el deslumbramiento de los conductores tomando en cuenta la luminosidad interna de los túneles para lo cual mediante normativas nacionales e internacionales y con equipos normados se analizará si los túneles cumplen o no con los criterios mínimos de luminosidad en beneficio de los conductores.

2.-MARCO TEÓRICO

El deslumbramiento que existe en los túneles de la ciudad de Quito y Guayaquil es muy notorio y a la vez muy perjudicial para el conductor que atraviesa día a día, los túneles son proyectos emblemáticos y muy importantes, ya que permiten el recorte notable de tiempo de viaje y permite que exista una integración entre distintas zonas clave de la ciudad.

Debido a la importancia que tienen estos túneles dentro del país se realiza este estudio, con la finalidad de determinar científicamente el nivel de deslumbramiento que existe dentro de estos túneles. Los túneles que van a ser evaluados dentro de esta investigación se encuentran en la región costa y sierra de Ecuador.

2.1. ANTECEDENTES

Los túneles comenzaron a construirse muchos años atrás cuando empezó a aparecer la minería, satisfaciendo la necesidad de suministro y distribución de agua en varios lugares del mundo, con el paso del tiempo y gracias a la evolución de la tecnología se ha encontrado un mayor número de utilidades para estos como son para vías ferroviarias, transporte subterráneo como metros, transporte y

distribución de redes de servicio público como redes telefónicas, de servicio eléctrico, entre otras, y de los más importantes y utilizados actualmente, para la circulación de vehículos, es decir el sistema vial, que cada vez tiene mayor exigencia y demanda en nuestro medio. [3]. El aprovechamiento del espacio subterráneo constituye en la actualidad una de las alternativas más idóneas para el desarrollo de vías rápidas de comunicación. A pesar de suma y o costo con respecto a otras soluciones de superficie, presenta cada vez mayores ventajas, tanto desde el punto de vista medioambiental como funcional (acortamiento de distancias, seguridad, menor impacto ambiental, etc.).

La conducción de vehículos a través de los túneles

durante horas diurnas plantea un problema totalmente diferente a la conducción durante la noche, la cual se concreta fundamentalmente en las diferencias existentes entre los elevados niveles de luminancia exteriores, y los bajos niveles de luminancia en el interior de los túneles.

El problema visual fundamental en un túnel es el de la adaptación del ojo humano desde las elevadas luminancias exteriores durante el día, a las bajas luminancias que existen en el interior de los túneles, teniendo además en cuenta que, en una determinada distribución de luminancias, puede no llegarse a ver un obstáculo si la luminancia es muy inferior a la de dicha distribución. Todo ello da lugar al conocido “efecto agujero negro” que impide, durante el día, que los conductores vean en el interior del túnel cuando se encuentran a una determinada distancia de la boca de entrada del mismo. [2].



Figura1. Efecto de Agujero negro
Fuente. [1]

2.2. Luminosidad

La luminosidad es la cantidad de luz emitida o reflejada por un objeto, también llamada claridad, es una propiedad de los colores. Ella da una indicación sobre el aspecto luminoso del color estudiado: cuanto más oscuro es el color, la luminosidad es más débil. La luminosidad de un objeto depende de la intensidad de energía luminosa que pasa de este al ojo, y de las pequeñas diferencias de intensidad luminosa perceptibles [4]. Para un espacio promedio de **250 pies cuadrados (aprox. 23m²)**, se necesitará **aproximadamente 5000 lúmenes** como su principal fuente de luz (20 lúmenes x 250 pies cuadrados).

2.2.1. Luminancia

Se conoce también como brillo y es la intensidad emitida por unidad de superficie tomando la superficie emisora perpendicular a la dirección de propagación. Es la intensidad luminosa que es emitida en una dirección dada por una superficie luminosa.

Pero cabe recalcar que nuestro proyecto se basa en la iluminación y en base a esto la buena o mala iluminación se genera un menor deslumbramiento en beneficio de los conductores.

Símbolo: L

Unidad de medida: cd/m²

La fórmula que la expresa es:

$$L \left(\frac{cd}{m^2} \right) = I (cd) \\ S \times \cos \alpha (m^2)$$

I: Intensidad

Cd: candela

S= Superficie

Cos a: coseno

2.2.2. Iluminancia

Es todo aquel flujo luminoso que recibe un área determinada que relaciona ese flujo luminoso con su extensión símbolo: E, y su unidad de medida es el lux.

Un lux es la iluminación de una superficie de 1 m² mismo que recibe un flujo luminoso de un lumen distribuido de manera semejante.

La fórmula que lo expresa es: E (lux)

$$\frac{(Lm)}{S (m^2)}$$

$$E = \frac{\phi}{S} \left[\frac{lm}{m^2}; lx \right]$$

Lux: flujo luminoso

Lm: lumen

S: superficie

M: metro cuadrado

2.2.3. Flujo luminoso

Es la cantidad de luz emitida por medio de una fuente en todas las direcciones.

Símbolo: F o Φ (Phi)

Unidad de medida: Lumen (Lm)

Rendimiento o eficacia luminosa:

Es la relación que existe entre el flujo luminoso y la potencia absorbida.

Símbolo: η (eta)

Unidad de medida: Lm/W

La fórmula es: η = Φ (Lm) W (W)

2.3. Intensidad de luz

Para cuantificar la intensidad de la luz emitida por una fuente, se emplea la unidad denominada candela (cd), cuya principal ventaja es que, puede establecerse con gran precisión de manera experimental: un centímetro cúbico de platino incandescente (~2043 °K) emite luz a una intensidad de 60 Cd. En la práctica, una mejor expresión de las propiedades de emisión de una fuente es el lumen (lm), que expresa la cantidad de luz que emite la fuente hacia el espacio circundante. El lux (lx) expresa el flujo luminoso que alcanza una superficie por unidad de medida.[5].

2.3.1. Intensidad luminosa

Es la que está proyectada en una dirección determinada en un ángulo.

La candela se define como la intensidad luminosa de una fuente puntual al momento de emitir un flujo luminoso de un lumen en un ángulo sólido de un estereorradián.

Símbolo: I

Unidad de medida: candela (cd)

La fórmula que lo expresa es:

$$I (cd) = \Phi (Lm) / \omega (sr)$$

Cd: candela

Φ: Phi

Lm: lumen

W: potencia

Sr: superficie

$$Lx = [lm/m^2].$$

2.4. Iluminación en túneles

Los requerimientos de iluminación en un túnel son distintos durante el día y durante la noche, en el día la iluminación exterior es significativamente mayor que la del interior del túnel, lo que produce un gran esfuerzo para la vista de los conductores, ya que el ojo humano no tiene la capacidad de adaptarse a cambios bruscos de luz, lo que hace que se reduzcan considerablemente los tiempos de reacción del conductor, pudiendo provocar accidentes [1].

Para que estos puedan garantizar una correcta operación, estos deben contar con instalaciones de seguridad como son los sistemas de iluminación de emergencia, de ventilación y a las respectivas normativas:

Tabla 1. Normativas a cumplir en túneles

Normativa	Descripción
CIE 88:2004	Guía para el alumbrado de túneles de carretera y pasos inferiores
DGC 36/2015	Orden circular, sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles.

Fuente.[1] Normativas

2.5. Deslumbramiento

El deslumbramiento es la percepción visual molesta, esta se genera cuando la intensidad luminosa de un objeto es mucho mayor que la del entorno que nos rodea, este fenómeno ocurre cuando se mira directamente a la fuente luminosa o a la vez cuando esta luz se ve reflejada en el agua. El UGR (Unified Glare Rating) o índice de deslumbramiento unificado es un valor comprendido entre 10 y 30, que expresa el deslumbramiento que provoca una fuente de luz, esa zona crítica de deslumbramiento existe y en función de cómo estén situadas las luminarias, el usuario será deslumbrado, aunque el UGR indicado en la misma sea bajo. El intervalo de medición dado por el deslumbramiento es en la entrada del túnel en la parte central y en la salida del mismo [1].

Existen dos formas de deslumbramiento:



Figura2. Deslumbramiento
Fuente: (fraile. 2019)

2.5.1. El deslumbramiento Perturbador

Consiste básicamente en la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa y con poco contraste, que desaparece a la vez que su causa deja de producirse.

2.5.2. El deslumbramiento molesto

Es aquel efecto molesto que consiste en una sensación muy incómoda que se produce por la luz al ser esta demasiado intensa y a la vez genera una molestia visual. Por ejemplo, se produce cuando dos vehículos al conducir por la noche se aproximan entre sí, uno de ellos comete el error de dejar encendidas las luces de largo alcance, en ese momento la luz se convierte en una molestia al ser demasiada intensa.

Para la acción de conducir, la salud visual es fundamental. La pupila tiene la función de regular la cantidad de luz que le llega a la retina, en la parte posterior del ojo. Es un reflejo fotomotor. Cuando penetra la luz en un ojo, las dos pupilas se constriñen al unísono porque cada retina envía fibras a las cintillas ópticas de ambos lados.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Método

Para la presente investigación se tomó en cuenta dos parámetros importantes la iluminación que tienen los túneles internamente de manera vertical en relación a la iluminación que entregan los vehículos de manera horizontal y el deslumbramiento que existe al final del túnel. Se realizó una investigación exploratoria descriptiva esto significa que se realizó ensayos de campo según normativa NFPA 502, y la normativa Técnica de Carreteras de España 36/2015 para determinar el deslumbramiento e iluminación que existe en estos puntos estratégicos en relación a la iluminación existente en los túneles de análisis.

En los túneles evaluados se realizará 2 mediciones a lo largo de la Zona de

Umbral, 4 mediciones a lo largo de la Zona de Transición, y en la Zona Interior se realizarán mediciones cada 100 metros en los Túneles del Cerro Santa Ana, y cada 200 metros en los Túneles de San Juan y Guayasamín.

3.2 Materiales

3.2.1. Lugar de pruebas

3.2.1.1. Túnel Cerro de Santa Ana

El túnel de Santa Ana ubicado en el norte de la ciudad de Guayaquil, tiene un sentido de circulación sur-norte fue inaugurado en el año 2002, construido con una longitud de 745 metros, el ancho de carril es de 3,25 metros y adicional este túnel es un punto muy importante de tráfico vehicular, debido a que circulan alrededor de 41747 vehículos diarios según lo que determina el tráfico promedio diario anual TPDA [2]

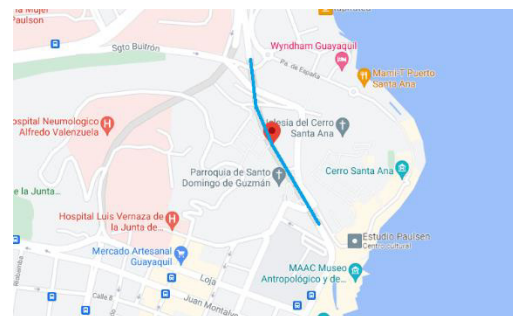


Figura3. Túnel Cerro Santa Ana
Fuente. Google Maps

3.2.1.2. Túnel Guayasamín

El túnel Oswaldo Guayasamín, considerado el más largo del país, mide 1.304 metros de longitud, y tiene 11,50 m de ancho, y una altura de 6,70m en la clave, Según los cálculos de los técnicos a cargo de la obra, el túnel recibirá diariamente alrededor de 30.000 vehículos livianos. [4]

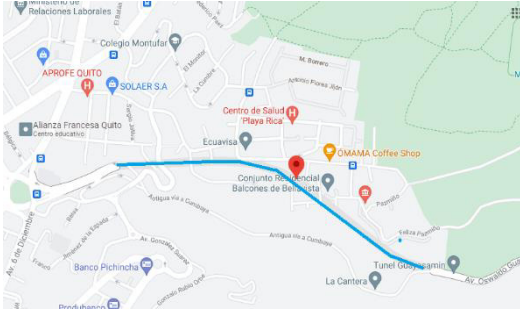


Figura4. Túnel Guayasamín
Fuente. Google Maps

3.2.1.3. Túnel San Juan

El túnel de San Juan, situado en la autovía A-70, tiene una longitud de 1.840 metros y se encuentra en servicio desde 1990. Se trata de un falso túnel, con un tubo para cada calzada y soporta una intensidad media diaria de 60.000 vehículos [1]

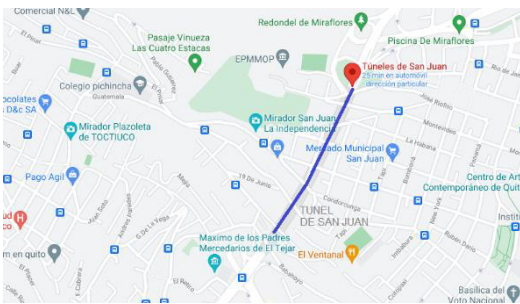


Figura5. Túnel San Juan
Fuente. Google Maps

3.2.2. Velocidad

Para las pruebas de campo, se utilizó una velocidad promedio de 50km/h, ya que, en los túneles de los cerros del Carmen, Santa Ana y San Eduardo existe vigilancia con cámaras y letreros que especifican que la velocidad máxima es de 50 km/h, que alertan de la prohibición de cambiarse de carril y de la disposición de encender las luces [5]. El límite máximo de velocidad para vehículos livianos, motocicletas y similares en sector urbano es de 50km/h y el rango moderado es de 50 a 60 Km/h; en el sector perimetral es de 90km/h y el rango moderado es de 90 a 120km/h; rectas en carreteras es de 100km/h y el rango moderado es de 100 a 135km/h y curvas en carreteras es de 60km/h y el rango moderado es de 60 a 75km/h.[6]



Figura6. Velocidad ingreso túnel
Fuente. [8]

3.2.3. Equipo de medición

Para el presente estudio se utilizó un luminancímetro, que es un instrumento que permite establecer la intensidad luminosa de cualquier tipo de fuente de luz, así como de cualquier superficie reflectora. A través del lente de este instrumento, se ve el campo que está siendo enfocado y un círculo en el centro que nos indica exactamente qué área está siendo medida.

Se utilizó un equipo de medición CS-150, el cual es un colorímetro triestimulo de alta precisión equipado con nuevos diseños de sensores con respuestas espectrales representando la sensibilidad del ojo humano para brindar resultados de medición que mejor se relacionen con la evaluación visual, como se observa en la figura7.



Figura7. Prueba de medición
Fuente. Autores

El medidor de luminancia y color CS-150 permite que la luminancia y cromaticidad sean medidas remotamente con un ángulo de aceptación de 1°. Es la perfecta combinación de eficiencia y ergonomía en relación con mediciones puntuales de color y luminancia en un instrumento portátil [7]



Figura8. Equipo de medición
Fuente. Autores

3.2.4. Normativa

La Norma NFPA 502 establece estándares de seguridad en función de la longitud del túnel, para la detección y alarmas de incendio, sistema contra incendio, control de tráfico y comunicaciones, exigiéndolo básicamente en proyectos de túneles carreteros. [9]. Específica, en función de las características del túnel, los requisitos generales del suministro eléctrico, no concreta las características del suministro para los sistemas de Iluminación de Emergencia y Seguridad, como igualmente establece la normativa Técnica de Carreteras de España 36/2015 [11]. Otras normativas como la NFPA-502:200823si especifican que la Iluminación de Emergencia, las luces de salida y las señales esenciales están alimentadas por una fuente de suministro de emergencia [10].

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Datos de entrada

Para iniciar con las pruebas de campo, se evaluará los coeficientes de fricción que tiene el pavimento de los túneles para generar pruebas dinámicas con el vehículo, tomando en cuenta una velocidad promedio de circulación de 50 km/h. se usara como dato, el coeficiente de fricción del pavimento seco de 0,67 y del pavimento húmedo 0,4. Con el coeficiente de fricción y la velocidad promedio se obtuvo un coeficiente de parada en cada túnel al análisis, según normativa CFR-135.

Tabla 2. Distancia de parada

Túnel	%	Dp Seco	Dp Húmedo
Santa Ana	0,01	42	53
Guayasamín	-3	45	57
San Juan	1.5	43	54

Fuente: Autores

El sistema simétrico es el sistema en el cual las luminarias poseen una distribución de intensidad luminosa que es simétrica en relación con el plano normal a la dirección del tráfico, es decir, la luz incide igualmente sobre los objetos en dirección a favor y en contra del tráfico [11].

Con los datos de entrada se calculará la luminancia L_{20} , a la que se la define como la media de los valores de luminancia en un campo de visión cónico, a un ángulo de 20° por un observador situado en el punto de referencia y mirando hacia un punto centrado. Esta representa el estado de adaptación del ojo de un conductor que se aproxima a la entrada de un túnel. [13]

$$L_{20} = \gamma \cdot LC + \rho \cdot LR + \varepsilon \cdot LE + \tau \cdot L_{th}$$

Ecuación 1

Para obtener los datos de prueba, se analiza varios factores, estos datos se obtiene en base a las muestras obtenidas en las pruebas de campo. Para distancias de parada de 60 m para pavimento húmedo, se considera un coeficiente k de 0,1; y los valores de Luminancia de cielo (LC), Luminancia de calzada (LR), Luminancia del entorno (LE), Luminancia de la zona de umbral (L_{th}), se obtendrán de acuerdo a datos obtenidos y lo que recomienda la norma 36/2015.

La sumatoria de los valores de porcentajes de cielo, calzada, entorno y portal será igual a 1.

4.2. Pruebas de iluminación

Para calcular el tipo de luminancia en el acceso a los túneles se utilizó un modelo matemático de acuerdo a las pruebas de

campo que mostró los equipos medición, de acuerdo a las variables de entrada, tomando en cuenta para un pavimento húmedo

4.2.1. Túnel

Se analizará el L20, que corresponde a la parte a cielo abierto de la carretera, que se encuentra en la entrada de la boca del túnel, abarca la distancia a la que el conductor debe ser capaz de ver en el interior del túnel. Tiene una longitud igual a la distancia de parada medida desde la boca del túnel, hasta un punto fuera del mismo. Tiene una longitud mínima igual a la distancia de parada [13].



Figura 9. Parámetros túnel Santa Ana
Fuente. Autores

Los datos obtenidos para el cálculo de luminancia L20, en base a las pruebas de campo y los valores que se adquiere de acuerdo a las características físicas y dinámicas del túnel de Santa Ana se observa en la tabla 2

Tabla 3. Valores cálculo L20

TUNEL	Santa Ana		Guayasamín		San Juan	
	%	cd/m2	%	cd/m2	%	cd/m2
γ	0	16000	0	9000	0	15000
ρ	38	5000	30	4000	36	8000
ϵ	21	4000	20	7000	35	6000
ϵ^*	14	2000	20	2000	2	2000

*: Vegetación

Fuente. Autores

$$L20 = \gamma \cdot LC + \rho \cdot LR + \epsilon \cdot LE + \tau \cdot Lth \text{ Ecuación 2}$$

$$L20 \text{ Santa Ana} = 3770 \text{ cd/m}^2$$

$$L20 \text{ Guayasamín} = 3128 \text{ cd/m}^2$$

$$L20 \text{ San Juan} = 3260 \text{ cd/m}^2$$

La Iluminación zona de Lumbral Lth se tomará en base a los valores obtenidos del cálculo de luminancia L20, multiplicado por el coeficiente de poder revelador k

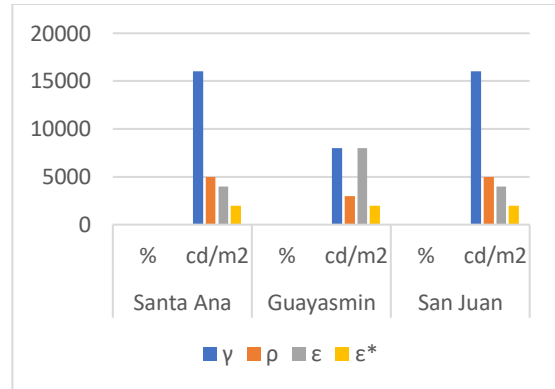


Figura 10. Zona de Lumbral Lth
Fuente. Autores

Para el cálculo de los valores de la zona de umbral se toma los datos obtenidos por el medidor de luminancia, dando un coeficiente de poder revelador k promedio de 0,004, en las 3 muestras.

Tabla 4. Valores Lth

	S. Ana	Guayas	S. Juan
Lth	150,8	125,12	130,4

Fuente. Autores

Los niveles de luminancia Ltr calculados en los diferentes tramos del túnel, van cambiando en función de su longitud, en el que la iluminación se estandariza para mejorar la visibilidad en el tramo interno de circulación y se mantiene constante hasta el punto de salida del túnel, tomados los valores a una velocidad constante de 50 km/h

$$Ltr = Lth \cdot (1,9 + 0(s))^{-1,423} \text{ Ecuación 3}$$

Para proporcionar al conductor una información visual adecuada en la entrada y salida del túnel, la iluminación será por lo menos un 10% de la luminancia

de la zona externa en un tramo de longitud aproximadamente igual a la distancia de frenado del vehículo, entre 40 y 80 m para velocidades comprendidas de 50km/h. los valores de Luz diurna brillante son aproximadamente de 110000 lux, y de 20000 lux con sombra iluminada por un cielo completamente azul, al mediodía.

Tabla 5. Valores Ltr

	S. Ana	Guayas	S. Juan
Lth	60,49	61,01	52,31

Fuente. Autores

4.3 Prueba de deslumbramiento

Se realizaron pruebas de campo en los puntos finales de los túneles. Los datos de entrada para las evaluaciones se estandarizaron en los 3 túneles propuestos como se observa en la tabla 5. Los valores de iluminación interna, no cumple con la normativa, de (8000 cd/m^2), pero se mantiene en el rango establecido de 3000 a 8000, esto significa que cumple con lo estipulado en iluminación en ambientes cerrados, pero no cumplen con normas internacionales como la Norma UNE-EN CR 14380:2007 “aplicaciones de iluminación. Alumbrado en túneles”

Tabla 7. Valores Ltr

	S. Ana	Guayas	S. Juan
Velocidad	50 km/h	50 km/h	50 km/h
Vehículos	No	Si	No
Horario	Diurno	Diurno	Diurno
L20 cd/m^2	3770	3128	3260

Fuente. Autores

Los valores obtenidos en las tres muestras de iluminación, denotan que la iluminación interna en los túneles permanece estable desde el tramo central, aproximadamente a 450m, y va aumentando de acuerdo se aproxima a la salida, ya que la luz natural compensa la falta de iluminación interna, pero no es lo suficiente

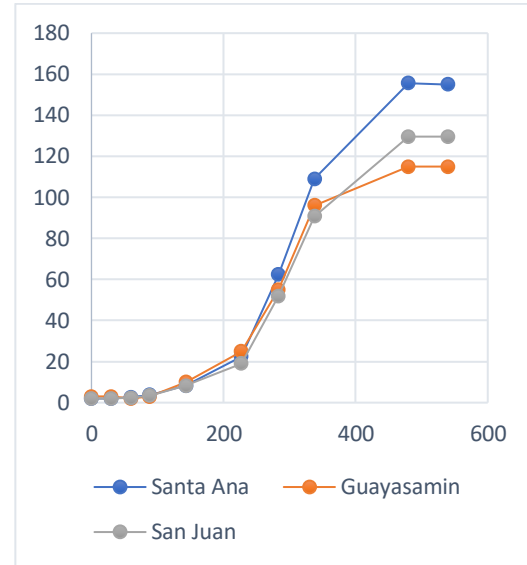


Figura 11. Iluminación túnel

Fuente. Autores

Como se observa en la figura 12 cada túnel presenta su iluminación de manera independiente, donde se puede apreciar que el túnel Guayasamin es el que presenta menor iluminación en el ramo de salida, tomando en cuenta que es un túnel de doble sentido, con una defenecía del 25,8%, respecto al tune de santa Ana y del 11,26% respecto al túnel San Juan.

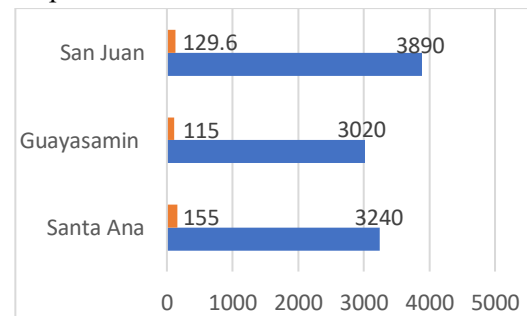


Figura 12. Comparativa iluminación natural con iluminación artificial

Fuente. Autores

Los valores de iluminación artificial cumplen con las exigencias establecidas con el gobierno local, pero no tiene la suficiente iluminación para compensar con la iluminación natural, lo que produce un deslumbramiento directo hacia los usuarios de los vehículos que transitan por estas vías de comunicación subterránea.

5. CONCLUSIONES

Los coeficientes de fricción que tiene el pavimento de los túneles para generar pruebas dinámicas con el vehículo, tomando en cuenta una velocidad promedio de circulación de 50 km/h, es de 0,67 para pavimento seco, y de 0,4 para pavimento húmedo.

Cada túnel presenta su iluminación de manera independiente, donde se puede apreciar que el túnel Guayasamín es el que presenta menor iluminación en el Tramo de salida, tomando en cuenta que es un túnel de doble sentido, con una deficiencia del 25,8%, respecto al túnel de Santa Ana y del 11,26% respecto al túnel San Juan.

Los valores obtenidos en las tres muestras de iluminación, denotan que la iluminación interna en los túneles permanece estable desde el tramo central, aproximadamente a 450m, y va aumentando de acuerdo se aproxima a la salida, ya que la luz natural compensa la falta de iluminación interna, pero no es lo suficiente

6. BIBLIOGRAFIA.

- [1] Cavaller, (2015). Seminario Técnico sobre iluminación.
- [2] Cansinos (2015). Guía de Iluminación en túneles e infraestructuras subterráneas.
- [2] [3] Guía de iluminación en túneles e infraestructuras subterráneas (2015).
- [4] Diario El comercio (2021), tomado de: www.elcomercio.es/asturias/201604/24/certifica-falta-provoco-accidentes-20160424015330-v.html?ref=https:%2F%2Fwww.google.com%2F
- [5] Diario El comercio (2021), tomado de: www.elcomercio.com/actualidad/tramo-tunel-san-diego-luminarias.html
- [6] Diario El Nacional (2014), tomado de: <https://elnacional.com.do/efectos-de-la-iluminacion-inadecuada-en-la-salud/>
- [1] [3] Normas INEN, (2005)
- [3] Thompson (1998). Diseño de una instalación eficiente de Iluminación en un túnel
- [2] Cansinos (2015) Reglamento Técnico de Iluminación Alumbrado Público Retilap.
- [1] Villagómez (2018) Guía de Iluminación en Túneles e Infraestructuras Subterráneas.
- [2] Federal Highway Administration, (2009).
- [1] Galvís (2008) Análisis y Metodología de evaluación de la contaminación lumínica causada por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca.
- [4] Selva (2011) Guía técnica de iluminación
- [5] Philips (1995) Normativas Técnicas.
- [2] Imu-editor (2018)
- [1] Ministerio de Fomento del Gobierno de España (2015).
- <https://www.lavanguardia.com/vida/20200103/472677634682/licitan-la-adequacion-del-tunel-de-san-juan-a-70-por-3126-millones.html>.
- Méndez (2020). Diseño de un plan de mejora basado en la cláusula 8 de la norma ISO14001 Para el Túnel el Cerro el Carmen.
- <https://www.eluniverso.com/2005/08/09/0001/12/9FF1875E56F746FB965E58ACA6A173F1.html/>
- <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2018/04/25/nota/6730986/mas-radares-tuneles-puentes-infracciones/>
- <https://www.ant.gob.ec/>

- <https://periodismoenbicieta.com/2019/01/17/cuales-son-las-principales-disposiciones-de-la-ley-de-transito-en-ecuador/>
- <https://www.seguridadentuneles.com/2011/08/03/iluminacion-de-emergencia-y-seguridad-en-tuneles-carreteros/>
- Ministerio de Fomento del Gobierno de España (2015).
- Cansinos (2015). Guía de Iluminación en túneles e infraestructuras subterráneas.
- National Fire Protection Association, Inc. Una Batterymarch Park Quincy, Massachusetts 02269 (2001). Estándar de los túneles de carretera, puentes, y otras carreteras de acceso limitado.
- [1]Quality Leds (2017), tomado de: https://tienda.qualityleds.es/blog/4_ugr.html

7. ANEXOS

ANEXO 1:

<https://www.lavanguardia.com/vida/20200103/472677634682/licitan-la-adequacion-del-tunel-de-san-juan-a-70-por-3126-millones.html>

Licitan la adecuación del túnel de San Juan (A-70) por 31,26 millones

**CVA-CARRETERAS ALICANTE
REDACCIÓN**

03/01/2020 12:08

Alicante, 3 ene (EFE). - El Ministerio de Fomento ha licitado las obras de adecuación del túnel de San Juan en la autovía A-70, por donde pasan una media de 60.000 vehículos diarios, con un presupuesto de 31,26 millones de euros.

Según un comunicado de Fomento, el Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado, fija los criterios a seguir para aplicar en los túneles de la Red de Carreteras del Estado las condiciones y requisitos mínimos de seguridad que el desarrollo actual de las infraestructuras de transporte exige.

El túnel de San Juan, situado en la autovía A-70, tiene una longitud de 1.840 metros y se encuentra en servicio desde 1990. Se trata de un falso túnel, con un tubo para cada calzada y soporta una intensidad media diaria de 60.000 vehículos.

Las actuaciones proyectadas son sobre las salidas de emergencia, los pozos de ventilación, las galerías de servicios, los drenajes longitudinales y la instalación eléctrica.

También se proyecta un nuevo edificio técnico y diversos equipamientos, entre ellos la mejora de la señalización interior, del sistema de circuito cerrado de televisión, de la megafonía, de la cobertura interior de comunicaciones, de la iluminación de emergencia y de la plataforma integradora del centro de control. EFE

ANEXO 2:Méndez (2020). Diseño de un plan de mejora basado en la clausula 8 de la norma ISO14001 Para el Túnel el Cerro el Carmen.

Introducción

El presente trabajo de titulación corresponde al diseño de un plan de mejora basado en la cláusula 8 de la norma ISO 14001 mediante la evaluación de aspectos e impactos ambientales del túnel Cerro el Carmen de la ciudad de Guayaquil a través de la Dirección de Obras Públicas perteneciente a la M.I. Municipalidad de Guayaquil. Para realizar este plan de mejora es primordial tener identificados los aspectos ambientales que se puedan presentar durante el uso del bien público, es decir las actividades que interactúan con el medio, teniendo como propósito principal evaluar y controlar los posibles impactos ambientales.

En la actualidad es fundamental cumplir e implementar normas de seguridad ambiental en toda organización con la finalidad de alcanzar compromisos de responsabilidad social, logrando de esta manera demostrar el interés por los derechos humanos, ambientales y laborales.

Controlar los impactos que las actividades del túnel generan es importante debido a que por este sitio circulan más de 41 747 vehículos diarios aproximadamente según tráfico promedio diario anual (TPDA), es por ello que se presenta una alta concentración de humo o dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de carbono y óxido nítrico, además de las partículas finas, los cuales son elementos que se emiten desde los tubos de escape de los vehículos causando de esta manera contaminación atmosférica, provocando daños en la salud de los conductores y trabajadores al acumularse en los pulmones, pero en caso de reunirse en

concentraciones densas pueden también reducir la visibilidad considerablemente lo que provocaría un importante riesgo de conducción.

Este tipo de problemas que se presentan dentro del túnel Cerro El Carmen se dan debido a la naturaleza de la estructura civil, donde no existe ventilación natural, por lo cual resulta apropiado implementar un sistema de monitoreo y control para reducir los agentes contaminantes.

CAPÍTULO I

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente los niveles de contaminación en el aire incrementan día a día debido a la generación de humo de las fábricas, máquinas industriales, vehículos, entre otros; lo que se ve reflejado como uno de los problemas más importantes en la ciudad. Los agentes contaminantes como: dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos (HC), óxido de nitrógeno (NO_x), emisiones evaporadas, etc., que emanan los automotores durante su funcionamiento han dado como resultado que el aire que se encuentra en el ambiente circundante de las ciudades se vuelva más tóxico para la salud, ya que incide en enfermedades pulmonares en la población.

En la ciudad de Guayaquil se encuentra el túnel Cerro El Carmen, con gran incidencia de tránsito vehicular. Esta obra ayuda a los conductores a trasladarse a su lugar de destino en menos tiempo de lo habitual, el túnel hace conexión entre la Av. Pedro Menéndez Gilbert y Boyacá (norte al centro de la urbe); sin embargo, desde que se realizó la apertura en el año 2003 para la libre circulación de vehículos,

se ha podido observar que existe una contaminación atmosférica generado por la emisión de gases tóxicos debido a la combustión vehicular.

El presente proyecto busca desarrollar una propuesta de mejora, basada en la cláusula ocho de la norma ISO 14001-2015, con el fin de controlar y disminuir los impactos ambientales para proteger el medio ambiente, siempre guardando el equilibrio con las necesidades del entorno.

La finalidad de esta propuesta de mejora es minimizar de manera significativa la posibilidad de tener accidentes que ocasionen impactos negativos al ambiente que puedan resultar costosos para la organización, y de esta manera proyectar una mejor imagen frente a los ciudadanos.

1.2 Diagnóstico, pronóstico y control de pronóstico

1.2.1 Diagnóstico ambiental

La elaboración del diagnóstico del túnel Cerro El Carmen se enfoca en las actividades que se desarrollan a diario. De acuerdo con la problemática planteada se toma en consideración los aspectos ambientales que permitirán determinar cuál de ellos es el mayor generador de impacto según la actividad que realizan.

Los aspectos ambientales son elementos de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente y los impactos ambientales representan cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización (SGS ACADEMY, 2012).

A continuación, se muestran las tres principales actividades que se llevan a cabo en el túnel, identificando de esta manera las causas que ocasionan la contaminación ambiental que afecta a la comunidad en general. Por lo consiguiente se relacionan los aspectos e impactos ambientales que se generan en cada una de las actividades.

Tabla 1. Diagnóstico ambiental del túnel Cerro El Carmen

ACTIVIDADES	ASPECTOS	IMPACTOS
Mantenimiento de la infraestructura	Derrames de productos químicos	Contaminación del suelo Contaminación del agua
	Emisión de ruido	Contaminación acústica
	Generación de olores	Afectación a la comunidad Impactos respiratorios en los conductores y personal
	Obstrucción temporal de acceso vehicular	Accidentes / Afectación a los conductores
	Consumo de energía	Agotamiento de recurso hídrico Generación de gases efecto invernadero
Flujo vehicular	Generación de polvo	Contaminación del aire Infecciones respiratorias Contaminación visual
	Emisión de humo (Emisión de Dióxido de carbono (CO ₂), Hidrocarburos (HC), Óxido de nitrógeno (NO _x) y emisiones evaporadas)	Contaminación del aire Afectación a la salud de las personas Contaminación visual
	Generación de ruido y vibración	Contaminación acústica
	Derrames de grasas, aceites, combustible y otras sustancias peligrosas.	Contaminación del suelo Contaminación del agua
	Actos vandálicos o robos	Afectación a los conductores y/o comunidad
	Consumo de combustible	Agotamiento recursos naturales Generación de gases efecto invernadero
	Incendio, explosión, y/o accidente	Contaminación atmosférica Derrame de sustancias químicas
	Generación de tráfico	Contaminación atmosférica Aumento de la cantidad de residuos Contaminación acústica
Áseo, limpieza de la infraestructura	Consumo de agua	Agotamiento del recurso
	Derrame de sustancias químicas	Contaminación del suelo Contaminación del agua
	Consumo de energía	Agotamiento de recurso hídrico Generación de gases efecto invernadero
	Obstrucción temporal de acceso vehicular	Accidentes Afectación a los conductores

Causas

- La alta afluencia diaria de vehículos provoca la emisión de polvo, ruido y gases contaminantes como el CO (monóxido de carbono), que aparece en la

atmósfera del túnel debido a la combustión incompleta de los combustibles de los vehículos.

- Carencia del conocimiento de medidas ambientales y de seguridad ocupacional por parte de los colaboradores.
- Falta de capacitación al personal de mantenimiento, planeación y administración del túnel, sobre políticas de planificación y control ambiental.

1.2.2 Pronóstico

- Posibles problemas en la salud de las personas como: complicación respiratoria, asma, reacciones alérgicas a la piel, irritaciones e insensibilidad a los ojos.
- Se incumple las prácticas ambientales provocando riesgos de contaminación asociados con los factores ambientales agua, tierra y atmosfera, lo mismos que pueden afectar a la comunidad en general incluyendo a los trabajadores del área.
- Desvinculación del personal por falta de instructivos y exceso de riesgos asociados a la salud ocupacional, lo que generaría inestabilidad en la implementación de un plan permanente de políticas ambientales

1.2.3 Control de pronóstico

Luego que se determinó el factor ambiental más afectado por las actividades que conlleva el uso diario del túnel, se definieron actividades para minimizar su impacto.

- Realizar un mantenimiento adecuado y contar con monitoreo de la calidad del aire dentro del túnel, mediante la operación de sensores de CO, NOx, SO2, permitirá lograr la reducción de gases contaminantes en el interior de este.
- Portar los instrumentos adecuados de protección, permitirá evitar problemas o complicaciones en el trabajo así se podrá prevenir riesgos de contraer enfermedades que afecten a los operarios.
- Capacitar al personal sobre la seguridad ambiental a fin de garantizar su bienestar y el de las personas que circulan en sus vehículos a diario por el túnel, con el fin de evitar algún tipo de incidente.
- Diseñar un Plan de mejora direccionado a los procedimientos ambientales para minimizar los índices de contaminación acorde a la cláusula ocho de la norma ISO 14001-2015.

1.3 Delimitación del problema.

1.3.1 Espacio.

- **País:** Ecuador
- **Región:** Costa
- **Provincia:** Guayas
- **Cantón:** Guayaquil
- **Organización:** Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil
- **Área:** Túnel Cerro El Carmen

- **Ubicación:** Centro de la Ciudad de Guayaquil

1.3.2 Tiempo

El Proyecto se llevó a cabo durante seis meses en el año 2020, desde el mes de mayo hasta el mes de agosto.

1.3.3 Universo

El objeto de estudio para el desarrollo de la investigación se llevará a cabo en el túnel Cerro El Carmen, en el cual trabajan alrededor de 31 personas bajo la dirección de obras públicas de la M.I. Municipalidad de Guayaquil.

1.4 Formulación y sistematización del problema

1.4.1 Formulación del problema

¿Cómo incidiría el diseño de un plan de mejora para el túnel Cerro El Carmen basado en la cláusula 8 de la norma ISO 14001-2015 para minimizar el impacto ambiental causado por la emisión de gases contaminantes provenientes del flujo vehicular en el túnel Cerro El Carmen?

1.4.2 Sistematización del problema

¿De qué manera beneficiará la elaboración de un diagnóstico ambiental en los procesos operacionales y prácticos del túnel Cerro El Carmen para identificar los aspectos e impactos ambientales que generan contaminación y deterioro ambiental?

¿Cómo contribuiría el diseño de un plan y un control operacional según el apartado 8 de la norma ISO 14001 -2015 para el túnel Cerro El Carmen?

¿Por qué es indispensable evaluar el desempeño ambiental en el flujo vehicular respecto a la política, los objetivos y metas ambientales de la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar un plan de mejora basado en la cláusula 8 de la norma ISO 14001-2015 para el túnel Cerro El Carmen con el fin de minimizar el impacto ambiental causado por la emisión de gases contaminantes.

1.5.2 Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico ambiental en los procesos operacionales y prácticos del túnel Cerro El Carmen para identificar los aspectos e impactos ambientales.
- Revisar el nivel de cumplimiento del apartado 8 de la norma ISO 14001 -2015 para "el túnel Cerro El Carmen", para proponer un diseño de un plan y control operacional que permita la adaptación total de la norma para lograr mejorar las prácticas medio ambientales del área.
- Evaluar el desempeño ambiental en el flujo vehicular respecto a la política, los objetivos y metas ambientales de la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil para obtener una visión clara del rendimiento del sistema de túneles.

1.6 Justificación de la investigación

1.6.1 Justificación teórica

Para el desarrollo del proyecto se usa como herramienta uno de los apartados de la norma ISO 14001-2015 para la caracterización de los aspectos e impactos ambientales que intervienen sobre de flujo vehicular del túnel Cerro El Carmen, de la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil.

El uso y aplicación de la norma ISO 14001 2015 es de gran valor, ya que especifica los requisitos para tener un sistema de gestión ambiental que le permita a la organización ampliar e implementar una política y objetivos que consideren los requisitos legales y la información relevante sobre los aspectos ambientales de mayor importancia, con la finalidad de mantener un adecuado control ambiental tomando en consideración condiciones económicas, sociales y culturales en el área de influencia vehicular.

1.6.2 Justificación Metodológica

Se llevó a cabo un diagnóstico en el área del túnel Cerro El Carmen con la finalidad de identificar las causas principales que ocasionan contaminación ambiental en el interior del mismo, se realizó mediante una herramienta matricial, la cual está basada en el método de Leopold, esta matriz causa-efecto permitió determinar la relación existente entre los aspectos e impactos ambientales con respecto a las actividades que se realizan dentro del túnel, así como también valorar la significancia del aspecto que genera mayor impacto.

La Evaluación Ambiental Inicial (EMI) nos permite detectar posibles problemas precisos que deben ser corregidos a la brevedad posible. Por otra parte, se realizó

entrevistas y encuestas a los operadores del área acerca de las actividades que se desarrollan y que nivel de conocimiento tienen sobre de esta actividad y si esta genera o no aspectos ambientales. A fin de lograr los objetivos del estudio, es preciso utilizar herramientas y técnicas de investigación como la evaluación de aspectos ambientales, con ello se logrará estar al tanto del impacto que estos aspectos generan, una vez realizado esto se podrá a su vez identificar qué aspecto es el que provoca mayor impacto para establecer los debidos controles operacionales.

1.6.3 Justificación práctica

Esta propuesta de un plan de mejora para los aspectos ambientales según el apartado 8 de la norma ISO 14001:2015 permitirá al Municipio de Guayaquil afianzar sus procedimientos en las actividades que se desarrollan en el túnel Cerro El Carmen, de esta manera se pretende lograr una adecuada relación con el medio ambiente de la localidad, tomando en consideración los factores sociales, económicos y culturales.

1.7 Supuestos

- El diseño de un plan de mejora basado en la cláusula 8 de la norma ISO 14001-2015 para el túnel Cerro El Carmen garantizará la minimización del impacto ambiental causado por la emisión de gases contaminantes.

- La ventaja de realizar un diagnóstico ambiental en los procesos operacionales y prácticas del túnel Cerro El Carmen es para identificar los aspectos e impactos ambientales más relevantes.

- La elaboración de un plan y un control operacional según el apartado 8 de la norma ISO 14001-2015 para "el túnel Cerro El Carmen" contribuirá a la mejora de las prácticas medio ambientales de la dirección de obras públicas.

- Una evaluación al desempeño ambiental en el flujo vehicular respecto a la política, los objetivos y metas ambientales de la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil permitirá obtener una visión clara sobre el rendimiento del sistema.

ANEXO 3:

<https://www.eluniverso.com/2005/08/09/0001/12/9FF1875E56F746FB965E58ACA6A173F1.html/>

El túnel de la Interoceánica será inaugurado mañana

El túnel de la Interoceánica será inaugurado mañana

9 de agosto, 2005 - 00h00



ARCHIVO / EL UNIVERSO

Foto: redacción

Mañana se abrirá al público el túnel sur de la Interoceánica Oswaldo Guayasamín, que permitirá el traslado de automotores desde el sector centro norte de Quito hasta Miravalle (sector de los Valles), de 5 a 7 minutos.

Según los cálculos de los técnicos a cargo de la obra, el túnel recibirá diariamente alrededor de 30.000 vehículos livianos.

El funcionamiento de este viaducto permitirá que se descongestionen las vías comúnmente utilizadas: Granados y Guápulo, calles por donde ahora el tiempo de recorrido es de 30 minutos.

Costo

El paso por el túnel costará 40 centavos de dólar de ida y el mismo valor para los que van de regreso.

Lo que se recaude por ese concepto se lo utilizará para darle mantenimiento a la vía Pifo.

Se informó que la inauguración del túnel será a las 09h30. El acto se programó a propósito de la conmemoración del Primer Grito de la Independencia y a este asistirán, entre otros invitados, el presidente de la República, Alfredo Palacio Gonzales, los representantes de los ministerios de Obras Públicas y Economía, cuerpo diplomático, organismos internacionales como la Corporación Andina de Fomento (CAF) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

La obra

El túnel Oswaldo Guayasamín, considerado el más largo del país, mide 1.304 metros de longitud, y tiene 11,50 m de ancho, y una altura de 6,70m en la clave.

Entre las indicaciones para que se eviten accidentes en el túnel están: no usar celular mientras se cruza esa vía, no rebasar, ni utilizar luces intensas.

Dentro del túnel se han colocado varias cámaras. Estas grabarán el paso de los automotores y a su vez registrarán las infracciones y los percances que se presenten a cualquier hora en ese sitio.

PASO**HORARIO**

El túnel será de doble vía. En primera instancia se pensó hacerlo unidireccional con horarios de circulación. También se señaló un carril central que servirá para que los vehículos lo utilicen solo en caso de emergencia.

VEHÍCULOS

Dentro del plan de funcionamiento de esta obra se ha establecido que no se permitirá el tráfico de transporte pesado.

NUEVO PASO

El costo de la obra fue de 33 millones y estuvo a cargo de la empresa José Cartellone. Fue financiada por el Gobierno y está previsto inaugurarse en marzo pasado, luego junio y finalmente será el próximo 10 de agosto.

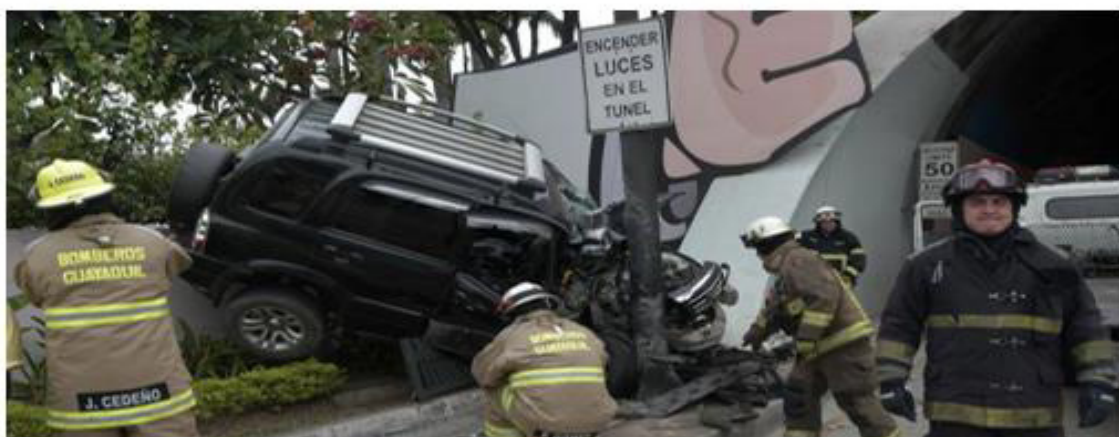
ANEXO 4:

<https://www.eluniverso.com/guayaquil/2018/04/25/nota/6730986/mas-radares-tuneles-puentes-infracciones/>

Más radares en túneles y los puentes por las infracciones

Entidad señala que falta de precaución motiva accidentes, que por ello hay multas 'disuasivas'.

25 de abril, 2018 - 00h00



Luego de extraer a un conductor herido, los bomberos colaboraron en la liberación del carro siniestrado. **Foto: redacción**

La **Autoridad de Tránsito Municipal (ATM)** prevé instalar "cámaras sancionadoras" en puentes y túneles de Guayaquil. Luis Lalama, director de Operaciones de la ATM, remarcó que el ente dispondrá de dispositivos en esos espacios ante la falta de precaución que evidencian choferes guayaquileños.

"Hay muchos conductores que realmente no respetan la norma de tránsito, hay una falta de precaución, los accidentes son más por imprudencia", mencionó el uniformado.

Más radares en túneles y los puentes por las infracciones

Hace alrededor de 3 años

En los túneles de los cerros del Carmen, Santa Ana y San Eduardo existe vigilancia con cámaras y letreros que especifican que la velocidad máxima es de 50 km/h, que alertan de la prohibición de cambiarse de carril y de la disposición de encender las luces, normas a veces desatendidas. La ATM, que no está a cargo del sistema de video sino el Municipio, no aplica sanción, admitió Lalama.

Un aparente exceso de velocidad habría ocasionado que un sargento de la Armada del Ecuador perdiera pista y se estrellara ayer con un poste justo en el ingreso del túnel del cerro del Carmen, en el centro.

El hombre tiene un diagnóstico de epilepsia, según la esposa del uniformado, que se recupera en el Hospital Naval. Allí la conviviente contó que su pareja tiene licencia y que suele conducir sin problemas a Milagro, de donde él es oriundo.

No se establecía ayer si un posible ataque epiléptico haya incidido en la pérdida de control por parte del chofer. Se esperaba esclarecer las causas del siniestro analizando el video de una cámara ojos de águila.

Lalama sostuvo que la ATM sí mantiene controles en las salidas de los túneles, pero no necesariamente vigilando el cambio indebido de carril, “sino otras contravenciones”.

“En las líneas continuas no se puede rebasar, pero hay falta de precaución, por eso nosotros, a través del Municipio, hemos puesto ordenanzas que castigan la doble columna, el exceso de velocidad, mal estacionamiento, bloqueo de intersecciones, son contravenciones que generan accidentes de tránsito”, enumeró Lalama.

El director de Operaciones de la ATM señaló que ante la recurrente imprudencia es que el Concejo de Guayaquil ha establecido, a través de ordenanza, “multas mucho más altas, para que sean disuasivas”.

En Guayaquil, la invasión del carril exclusivo de la Metrovía se castiga con un salario básico, es decir, \$ 386 en la actualidad, y esa misma pena se aplicará en el bloqueo de intersecciones.

En el centro hay dispositivos instalados, que hoy registran las contravenciones, pero la ATM está en una campaña de concienciación. Ha anunciado que en junio próximo empezará a aplicar multas. Entonces, a través de los dispositivos fotográficos, también castigará la doble columna y el bloqueo de paraderos en los corredores viales.

José Lozano, chofer profesional, comentó que es repetitivo que conductores se cambien de carril de manera imprudente, con riesgo de impacto lateral. Señaló que busca manejar con la mayor precaución en pro de no verse involucrado en accidentes. (I)

Accidente

Colisión en túnel

Testigos

Según testigos, el carro que colisionó en el ingreso al túnel del cerro del Carmen trepó la vereda y casi tumbó una jardinera metálica antes de chocar un poste. El jefe de la División de Rescate, Jorge Montanero, refirió que, si hubiese habido un acompañante, este habría resultado gravemente lesionado, ya que del lado derecho del carro los hierros quedaron retorcidos.

ANEXO 5:

FUENTE: <https://www.ant.gob.ec/>

VELOCIDADES VEHICULOS ZONA URBANA

La Agencia Nacional de Tránsito conjuntamente con Panavial S.A., hacen un llamado a la ciudadanía para que se enmarquen en los límites de velocidad que estipula el Art. 191 del Reglamento, creando una cultura de respeto a la ley y normas de tránsito y de esta forma, contribuir en la reducción de los accidentes de tránsito en las carreteras del Ecuador. El referido artículo indica que: los límites máximos y rangos moderados de velocidad vehicular permitidos en las vías públicas, con excepción de trenes y autocarriles, son los siguientes:

El límite máximo de velocidad para vehículos livianos, motocicletas y similares en sector urbano es de 50km/h y el rango moderado es de 50 a 60 Km/h; en el sector perimetral es de 90km/h y el rango moderado es de 90 a 120km/h; rectas en carreteras es de 100km/h y el rango moderado es de 100 a 135km/h y curvas en carreteras es de 60km/h y el rango moderado es de 60 a 75km/h.

Para vehículos de transporte público de pasajeros, el límite de velocidad máxima en el sector urbano es de 40km/h y el rango moderado es de 40 a 50 km/h; en el sector perimetral es de 70km/h y el rango moderado es de 70 a 100km/h; rectas en carreteras es de 90km/h y el rango moderado es de 90 a 115km/h y curvas en carreteras es de 50km/h y el rango moderado es de 50 a 65km/h.

Para vehículos de transporte de carga, el límite de velocidad máxima en el sector urbano es de 40km/h y el rango moderado es de 40 a 50 km/h; en el sector perimetral es de 70km/h y el rango moderado es de 70 a 95km/h; rectas en carreteras es de 70km/h y el rango moderado es de 70 a 100km/h y curvas en carreteras es de 40km/h y el rango moderado es de 40 a 60km/h.

ANEXO 6:
FUENTE:Autores

KONICA MINOLTA | SENSING AMERICAS

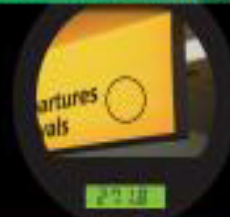
LUZ

Medidor de Luminancia y Color CS-150/CS-160

¡Nuevos Modelos con mayor precisión y comodidad en su manejo!



El Medidor de Color CS-150 mide color y luminancia con un ángulo de medición de 1° de 0.01 a 999,900 cd/m²



El Medidor de Color CS-160 mide color y luminancia con un ángulo de medición de 1/3° de 0.1 a 9,999,000 cd/m²

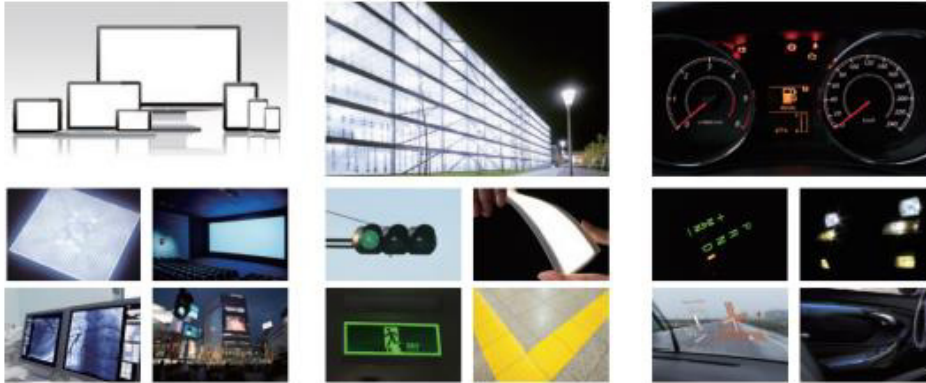
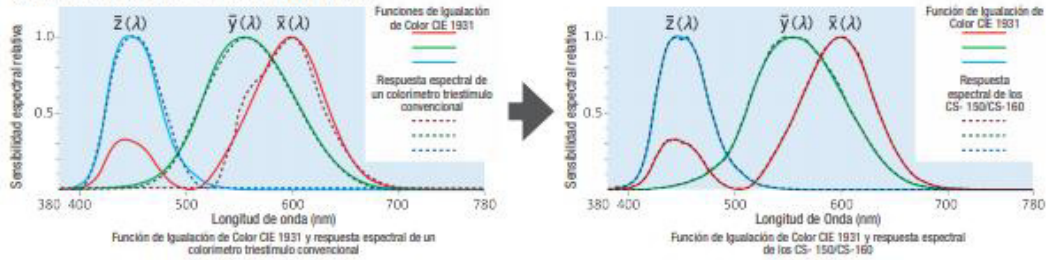


1

Mayor precisión

Los CS-150 y CS-160 son colorímetros triestímulos de alta precisión equipados con un nuevo diseño de sensor con una respuesta espectral que iguala más cercanamente la función de igualación de color CIE 1931 representando la sensibilidad del ojo humano para brindar resultados de mediciones que se correlacionan bien con la evaluación visual.

La función de igualación de color $\bar{x}(\lambda)$ CIE 1931 posee dos picos, uno pequeño en la región corta de la longitud de onda (a menudo denominada $\bar{x}_s(\lambda)$) y otra mayor en la región mayor de la longitud de onda (a menudo denominada $\bar{x}_l(\lambda)$). En los colorímetros triestímulos convencionales el sensor $x(\lambda)$ tiene una respuesta espectral sólo para la región mayor de la longitud de onda $\bar{x}_l(\lambda)$, y los datos para la región pequeña de longitud de onda $\bar{x}_s(\lambda)$ son calculados a partir del sensor $\bar{z}(\lambda)$. Pero el CS-150 y CS-160 tienen respuestas espectrales que siguen más cercanamente las funciones de igualación de color CIE 1931, y miden directamente usando la respuesta $\bar{x}(\lambda)$ tanto en la región corta de longitud de onda y la región mayor de longitud de onda $\bar{x}_l(\lambda)$, para que la respuesta espectral resultante del instrumento iguale más cercanamente las funciones de igualación espectral CIE 1931 por el ojo humano.



3

Gran cantidad de accesorios opcionales

4 opciones de lentes de acercamiento (No 153, 135, 122 y 110) permiten mediciones de áreas pequeñas.



Distancia de medición y área de medición (Unidades: mm)

Ángulo de medición	Área mínima de medición		Área máxima de medición		Distancia mínima de medición	Distancia máxima de medición
	1/3°	1°	1/3°	1°		
Ninguno	4.5	14.4	∞	∞	1,012	∞
No. 153	2.5	8	5.9	18.8	627	1,219
No. 135	1.6	5.2	2.7	8.6	455	625
No. 122	1.0	3.2	1.3	4.3	331	378
No. 110	0.4	1.3	0.5	1.5	213	215

*Distancia de medición es la distancia desde el plano de referencia de la distancia medida

Adaptador de cámara CCD con montaje C permite que el visor sea monitoreado a la distancia.



Este adaptador permite que una cámara industrial CCD con montaje C sea adjuntada al visor para que las mediciones, incluyendo la visión a través del visor, puedan ser monitoreadas a la distancia o grabadas.

*La cámara CCD no está incluida.

El adaptador de iluminación permite que la iluminación también sea medida



Rangos medibles de iluminación:

- CS-150: Corresponde a 0.15 – 999,990 lx
- CS-160: Corresponde a 1.5 -9,999,000 lx

*Este método de medición de iluminación no se ajusta a los estándares DIN o JIS.

2 Fácil de usar

El visor brillante facilita localizar las áreas deseadas para la medición

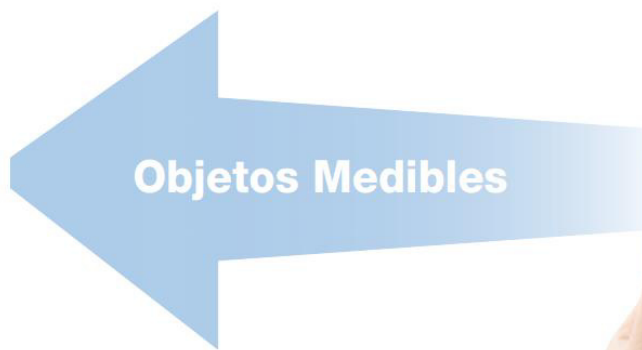


El modo automático automáticamente configura el tiempo de medición según el brillo del objetivo

La pantalla retro iluminada facilita la lectura aún en lugares oscuros y se apaga automáticamente durante las mediciones



Control de fácil manejo. Enfoque suave durante las mediciones



4 Software de utilidad de fácil entendimiento

El software incluido permite a los medidores controlar desde una PC. Repetidos intervalos de mediciones pueden ser conducidos por un número específico de veces a intervalos determinados, los datos de medición pueden mostrarse en gráficos o listados, y los datos pueden ser enviados a aplicaciones de hojas de cálculo.

Soporte OS: Windows® 7 Professional 32 bit, 64 bit
Windows® 8.1 Pro 32 bit, 64 bit
Windows® 10 Pro 32 bit, 64 bit

Características

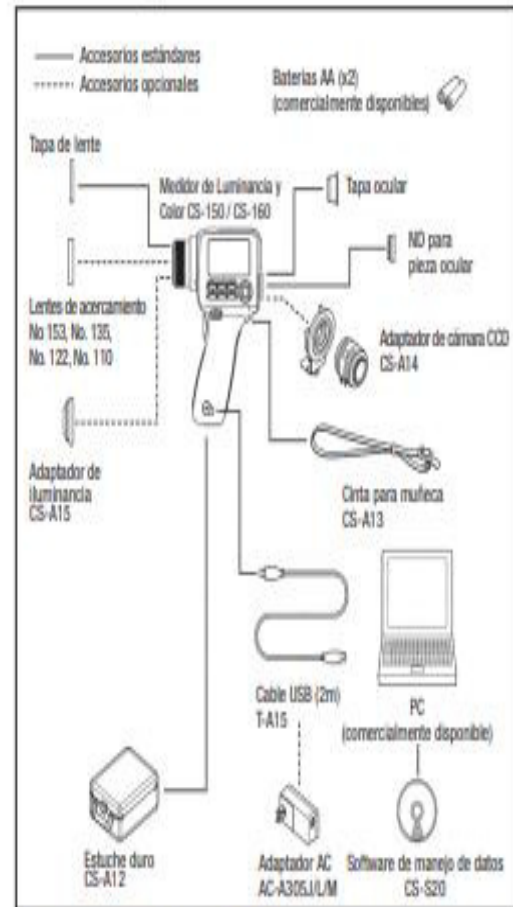
Control de Medición	<ul style="list-style-type: none"> 1 medición de disparo Mediciones continuas Intervalo de mediciones: 2 a 5,000 veces de 3 a 3,6000 seg. de intervalos (en incrementos de 1 seg.) Medición de gatillo del instrumento Configuración de las características del medidor Exportación de datos almacenados a una PC Calibración de usuario
Datos objetivos	<ul style="list-style-type: none"> Configuración de datos objetivos Descarga de datos objetivos desde la PC al medidor
Listado de Datos	Listado de pantalla y borrado/copia y pegado de mediciones y dato objetivo
I/O Externo	Ingreso de texto; guardado en formato CSV; copiado de listado a/desde portapapeles



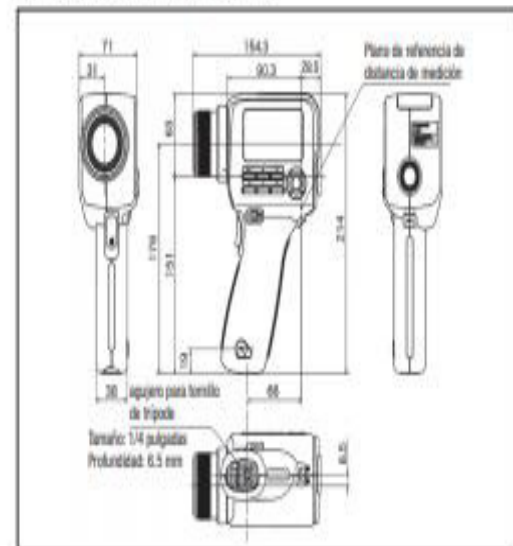
Especificaciones

Modelo	Medidor de Luminancia y Color CS-150	Medidor de Luminancia y Color CS-160
Angulo de Medición	1°	1/3°
Sistema Óptico	Sistema de visión SLR, f = 85 mm F2.8	
Angulo de Visión	9° (con ajuste de dioptrías)	
Respuesta Espectral Relativa	Iguala cercanamente la eficiencia luminosa espectral (V _λ)	
Aplicación Estándar	DIN 5032-Clase 7 Obediente 8	
Área de Medición Mínima (diámetro)	14.4 mm (1.3 mm cuando se usan lentes de acercamiento)	4.5 mm (0.4 mm cuando se usan lentes de acercamiento)
Distancia de Medición Mínima (desde el plano de referencia de la distancia de medición)	1.012mm (213 mm cuando se usan lentes de acercamiento)	
Modo de Medición	Valores instantáneos, valor máximo/mínimo, diferencia de luminancia (Δ)/tado de luminancia (%)	
Tiempo de Medición	AUTO: 0.7 to 4.3 segundos Manual: 0.7 to 7.1 segundos	
Unidad de Luminancia	cd/m ² or fL	
Rango de Luminancia	0.01 to 999,900 cd/m ²	0.1 to 9,999,900 cd/m ²
Precisión *1	Luminancia: +/-2% +/- 1 dígito Cromaticidad: +/-0.001 (10 cd/m ² o mayor)	Luminancia: +/-2% +/- 1 dígito Cromaticidad: +/-0.001 (100 cd/m ² o mayor)
Repetitividad *1	Luminancia: 0.2% + 1 dígito Cromaticidad: 0.001 (10 cd/m ² o mayor) Cromaticidad: 0.002 (10 cd/m ² o mayor)	Luminancia: 0.2% + 1 dígito Cromaticidad: 0.001 (100 cd/m ² o mayor) Cromaticidad: 0.002 (100 cd/m ² o mayor)
Calibración Estándar	Intercambiable entre Kirinca Minolta estándar/ estándar especificado por usuario	
Canales de Calibración de Usuario	10 canales	
Memoria de Datos	1,000 datos	
Pantalla Externa (Número de dígitos significativos)	Luminancia: 4 dígitos Cromaticidad: 4 dígitos	
Pantalla Interna (Número de dígitos significativos)	Luminancia: 4 dígitos	
Interfaz	USB 2.0	
Energía	Baterías AA (x2), energía USB, o adaptador opcional AC	
Consumición Actual	Cuando el visor despliega su Estado: 70mA promedio	
Temperatura de Operación/Rango de Humedad	0 to 40°C, humedad relativa of 85% o menos (at 35°C)	
Temperatura de Almacenamiento/Rango de Humedad	0 to 45°C, humedad relativa of 85% o menos(at 35°C)	
Tamaño	71x214x154 mm	
Peso	850 g (sin baterías)	
Accesorios Estándares	Tapa de Lentes Filtro ocular ND Baterías AA (x2) Estuche Duro CS-A12 Cinta para Muñeca (CS-A13) Cable USB T-A15 Software de Manejo de Datos CS-S20	
Accesorios Opcionales	Lentes de Acercamiento No. 153/135/122/110 Adaptador de Cámara CCD CS-A14 Adaptador de Luminancia CS-A15 Adaptador AC AC-A305/J/L/M	
Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso		
*1 Iluminante Estándar A, distancia estándar de medición, configuración de tiempo de medición: Automática		

Sistema de diagrama



Dimensiones (Unidades: mm)



ANEXO 7:

<https://periodismoenbicieta.com/2019/01/17/cuales-son-las-principales-disposiciones-de-la-ley-de-transito-en-ecuador/>

CUÁLES SON LAS PRINCIPALES DISPOSICIONES DE LA LEY DE TRÁNSITO EN ECUADOR

ENERO 17, 2019 JUAN PABLO PÉREZ TOMALÁ DEJA UN COMENTARIO

La cultura vial en Ecuador, al igual que en la mayoría de Latinoamérica, es deficiente. Falta ver la falta de prioridad que tiene el peatón o el desconocimiento de normas básicas de conducción, para determinar que una cosa es tener la Ley y otra que la cumplamos.

Falta de respeto al peatón y los ciclistas, que tienen prioridad, y el exceso de velocidad, son para mí las dos principales deficiencias de nuestra cultura vial. Es algo que deberíamos estudiar desde la escuela, pero en nuestro país no hay políticas públicas que lo garanticen.

Por eso creo que es importante que los ciudadanos, peatones, conductores y/o usuarios del transporte público, nos eduquemos sobre la Ley que tenemos porque eso ayudará a que tengamos calles más seguras y un entorno social adecuado para todos los actores de la vialidad.

Aquí las principales disposiciones que encontré en nuestra Ley de Tránsito y su respectivo Reglamento:

Educación

Artículo 30.- Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos y Municipales tendrán las siguientes competencias: L) Promover, ejecutar y mantener **campañas masivas, programas y proyectos de educación** en temas relacionados con el tránsito y seguridad vial dentro del cantón;

Artículo 88.- En materia de tránsito y seguridad vial, la presente Ley tiene por objetivo, entre otros, los siguientes:
C) El establecimiento de **programas de capacitación y difusión para conductores, peatones, pasajeros y autoridades**, en materia de seguridad vial, para la creación de una cultura y conciencia vial responsable y solidaria;

Artículo 186.- El Ministerio de Educación, conjuntamente con el Director Ejecutivo de la Comisión Nacional y en coordinación con la Dirección Nacional de Control del Tránsito y Seguridad Vial, en el ámbito de sus competencias, diseñarán y autorizarán los **planes y programas educativos** para estudiantes, peatones, conductores, instructores viales y demás actores relacionados con la educación, prevención, tránsito y seguridad vial.

Reglamento Artículo 255.- La educación vial se realizará de forma permanente y obligatoria mediante programas, proyectos, publicaciones, campañas periódicas y otras actividades diversas que permitan su difusión masiva a través de los medios de comunicación, así como de los programas de educación en las diferentes instituciones educativas públicas, fiscomisionales, misionales, de los GADs, o privadas, de nivel pre-básico, básico, medio y superior del país.

Reglamento Artículo 256.- En los programas curriculares de estudio de los establecimientos de educación de nivel pre-básico, básico y medio del país deberán incluirse obligatoriamente los planes y programas de educación vial autorizados por el Directorio de la Agencia Nacional de Tránsito y el Ministerio de Educación. En los niveles pre-primario y primario se ejecutarán como eje transversal. En el nivel medio y superior se considerará y evaluará como una materia.

Grupos prioritarios

Artículo 48.- En el transporte terrestre, **gozarán de atención preferente las personas con discapacidades, adultos mayores de 65 años de edad, mujeres embarazadas, niñas, niños y adolescentes**, de conformidad con lo establecido en el Reglamento de esta Ley. Se establecerá un sistema de tarifas diferenciadas en la transportación pública en beneficio de niñas, niños y adolescentes, personas con discapacidad, adultas y adultos mayores de 65 años de edad. El reglamento a la presente Ley determinará el procedimiento para la aplicación de tarifas.

Artículo 181.- Los usuarios de la vía están obligados a comportarse de forma que no entorpezcan la circulación, ni causen peligro, perjuicios o molestias innecesarias a las personas, o daños a los bienes. **Queda prohibido conducir de modo negligente o temerario.** Los conductores deberán estar en todo momento en condiciones de controlar el vehículo que conducen y adoptar las precauciones necesarias para su seguridad y de los demás usuarios de las vías, **especialmente cuando se trate de mujeres embarazadas, niños, adultos mayores de 65 años de edad, invidentes u otras personas con discapacidades.**

Artículo 200.- Las personas con discapacidad, movilidad reducida y grupos vulnerables gozarán de los siguientes derechos y preferencias:

A) En las intersecciones, pasos peatonales, cruces cebra y donde no existan semáforos, gozarán de derecho de paso sobre las personas y los vehículos. Es obligación de todo usuario vial, incluyendo a los conductores, **ceder el paso y mantenerse detenidos hasta que concluyan el cruce.**

Reglamento Artículo 43.- Las personas a las que se refiere este capítulo tendrán **derecho a embarcar al bus en forma previa y prioritaria** a cualquier otro usuario. En caso de ser necesario, el personal encargado de la prestación del servicio, determinará la conveniencia de desembarcarlo primero o al final de la salida del resto de los pasajeros.

Reglamento Artículo 44.- Las sillas de ruedas, coches para bebés, camillas, muletas u otros equipos que requieran las personas referidas en este capítulo, serán **transportadas gratuitamente** como equipaje prioritario.

Reglamento Artículo 45.- Las personas citadas en este capítulo tendrán derecho a **acceder directamente a la boletería** para la compra de pasajes o cualquier otra gestión sin hacer fila.

Reglamento Artículo 265.- Los peatones y las personas con movilidad reducida que transitan en artefactos especiales manejados por ellos mismos o por terceros como: andadores, sillas de ruedas, sillas motorizadas, y otros, tendrán derecho a:

1. Hacer uso de la calzada en forma excepcional en el caso de que un obstáculo se encuentre bloqueando la acera. En tal caso, debe tomar las precauciones respectivas para salvaguardar su integridad física y la de terceros;
2. Tener derecho de paso respecto a los vehículos que cruzan la acera para ingresar o salir de áreas de estacionamiento;
3. Continuar con el cruce de vía una vez que este se haya iniciado, siempre y cuando haya tenido preferencia de cruce, aún cuando la luz verde del semáforo haya cambiado;
4. Tener derecho de paso en los casos en que tanto el peatón como el automotor tengan derecho de vía en una intersección, cuando el automotor vaya a girar hacia la derecha o izquierda; y,
5. Contar con la ayuda necesaria por parte de personas responsables y en especial de los agentes de tránsito, al momento de cruzar las vías públicas, en el caso de que los peatones sean niños o niñas menores de diez años de edad, adultos mayores de 65 años de edad, invidentes, personas con movilidad reducida u otras personas con discapacidad.

Reglamento Artículo 267.- Las personas invidentes, sordomudos, con movilidad reducida u otras personas con discapacidad, gozarán de los siguientes derechos y preferencias, además de los comunes a los peatones: **1.** Disponer de vías públicas libres de obstáculos, no invadidas y adecuadas a sus necesidades particulares;

2. Contar con infraestructura y señalización vial adecuadas a sus necesidades que garanticen su seguridad; y,

3. Gozarán de derecho de paso sobre las personas y los vehículos, en las intersecciones, pasos peatonales, cruces cebra y donde no existan semáforos. Es obligación de todo usuario vial,

incluyendo a los conductores, ceder el paso y mantenerse detenidos hasta que concluyan el cruce.

Emergencias

Artículo 49.- El transporte terrestre de **mercancías peligrosas** tales como productos o sustancias químicas, desechos u objetos que por sus características peligrosas: corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, biológicas, infecciosas y radiactivas, que pueden generar riesgos que afectan a la salud de las personas expuestas, o causen daños a la propiedad y al ambiente, se regirá a lo establecido en las leyes pertinentes y a lo dispuesto en el Reglamento de esta ley y en los reglamentos específicos y los instrumentos internacionales vigentes.

Reglamento Artículo 49.- Los vehículos de transporte terrestre de sustancias tóxicas y peligrosas no pueden circular por carriles centrales cuando la carga:

1. Sobresalga de la parte delantera o de los costados, salvo cuando se obtenga el permiso correspondiente;
2. Sobresalga la parte posterior por más de dos metros; y si pasa de 1,20, se obliga a utilizar banderolas en el día y luces en la noche;
3. Obstruya la visibilidad del conductor;
4. No esté debidamente cubierta con lonas, tratándose de materiales que puedan esparcirse;
5. No vaya debidamente sujeta al vehículo por medio de cables; y,
6. Sin contar con un dispositivo localizador de vehículo, equipos o sistemas de control de proyección para impedir el robo del vehículo o de su carga, y de que estos funcionen correctamente en cualquier momento, tratándose de mercancías peligrosas de alto riesgo.

Reglamento Artículo 170.- Todos los vehículos motorizados deberán disponer de:

1. Un botiquín para primeros auxilios con: alcohol antiséptico, agua oxigenada, gasa, algodón, vendas (una triangular y una longitudinal no flexible), esparadrapo poroso, analgésicos orales, tijeras y guantes de látex;
2. Caja de herramienta básica con: linterna, juego de desarmadores, alicates, juego de llaves, cables de corriente, cinta aislante, etc.;
3. Llantas de emergencia en condiciones operables, llave de ruedas y gata;
4. Extintor de incendios con capacidad mínima de 10 kg., de polvo químico seco para vehículos pesados, y para vehículos livianos inferior a 10 kg;
5. Dos triángulos de seguridad con las siguientes especificaciones:
 - a) Triángulo equilátero metálico o plástico, vacío interiormente con franjas perimetrales de 5 cm. de ancho y una longitud de 50 cm. por lado, las franjas del triángulo deberán ser de color rojo retroreflectivo con un mínimo de 98cd/lux/m² en sus dos lados.
 - b) La señal deberá estar equipada con una base que le permita apoyarse establemente en el plano de la vía pública en posición perpendicular, en un ángulo no superior de los 10 grados hacia atrás entre el plano de la señal y el plano perpendicular de la calzada.

Reglamento Artículo 175.- Los conductores, en áreas intracantonaes, deberán mantener una distancia prudencial mínima de 3 metros con respecto al vehículo al que antecedan en el mismo carril, de tal forma que le permita detenerse con seguridad ante cualquier emergencia. En áreas perimetrales y rurales, para observar esta distancia se considerará: la velocidad, estado del vehículo, condiciones ambientales, el tipo, condiciones y topografía de la vía, y el tránsito existente al momento de la circulación. Los vehículos, en sus desplazamientos, mantendrán una distancia lateral de seguridad mínima de 1.5 metros y una mayor distancia cuando rebasen o adelanten a ciclistas, motociclistas y carretas.

Reglamento Artículo 219.- Todo conductor, ante la aproximación de un vehículo de emergencia que transita con ocasión del cumplimiento de sus funciones específicas, haciendo uso de sus señales auditivas y visuales, observará las siguientes reglas:

1. El conductor de otro vehículo que circule en el mismo sentido, debe ceder el derecho de vía conduciendo su vehículo hacia el costado derecho de la calzada lo más cerca posible del borde de la acera o de la cuneta en la carretera, deteniéndose si fuere necesario hasta que haya pasado el vehículo de emergencia;

2. Los vehículos que lleguen a una intersección, a la cual se aproxima un vehículo de emergencia, deberán detenerse o ceder su derecho de vía; y,

3. Cuando un vehículo de emergencia se aproxime a un cruce con luz roja u otra señal de detención, deberá reducir la velocidad y cruzar solamente cuando los demás vehículos le hayan cedido el paso y no exista peligro de accidente.

Sistema de transporte

Artículo 50.- El Estado propenderá a la **utilización de los sistemas inter y multimodales**, como herramientas necesarias que permitan reducir costos operativos, mejora en los tiempos de transporte y eficiencia en los servicios.

Bicicletas

Artículo 63.- Los terminales terrestres, estaciones de bus o similares, paraderos de transporte en general, áreas de parqueo en aeropuertos, puertos, mercados, plazas, parques, centros educativos de todo nivel y en los de los de las instituciones públicas en general, **dispondrán de un espacio y estructura para el parqueo, accesibilidad y conectividad de bicicletas**, con las seguridades mínimas para su conservación y mantenimiento. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados exigirán como requisito obligatorio para otorgar permisos de construcción o remodelación, un lugar destinado para el estacionamiento de las bicicletas en el lugar más próximo a la entrada principal, en número suficiente y con bases metálicas para que puedan ser aseguradas con cadenas, en todo nuevo proyecto de edificación de edificios de uso público.

Artículo 204.- Los ciclistas tendrán los siguientes derechos:

A) Transitar por **todas las vías públicas del país**, con respeto y seguridad, excepto en aquellos en la que la infraestructura actual ponga en riesgo su seguridad, como túneles y pasos a desnivel sin carril para ciclistas, en los que **se deberá adecuar espacios** para hacerlo;

B) Disponer de vías de circulación privilegiada dentro de las ciudades y en las carreteras, como **ciclovías** y espacios similares;

C) Disponer de **espacios gratuitos** y libres de obstáculos, con las adecuaciones correspondiente, para el **parqueo de las bicicletas** en los terminales terrestres, estaciones de bus o similares;

D) Derecho preferente de vía o circulación en los desvíos de avenidas y carreteras, cruce de caminos, intersecciones no señalizadas y ciclovías;

E) A **transportar sus bicicletas en los vehículos de transporte público cantonal e interprovincial, sin ningún costo** adicional. Para facilitar este derecho, y sin perjuicio de su cumplimiento incondicional, los transportistas dotarán a sus unidades de estructuras portabicicletas en sus partes anterior y superior; y,

F) Derecho a tener días de circulación preferente de las bicicletas en el área urbana, con determinación de recorridos, favoreciéndose e impulsándose el desarrollo de ciclopaseos ciudadanos.

Artículo 209.- Toda vía a ser construida, rehabilitada o mantenida deberá contar en los proyectos con un estudio técnico de seguridad y señalización vial, previamente al inicio de las obras. Los municipios, consejos provinciales y Ministerio de Obras Públicas, deberán exigir como requisito obligatorio en todo nuevo proyecto de construcción de vías de circulación vehicular, la incorporación de senderos asfaltados o de hormigón para el **uso de bicicletas** con una anchura que no deberá ser inferior a los dos metros por cada vía unidireccional. Las entidades municipales deberán hacer estudios para incorporar en el casco urbano vías nuevas de circulación y lugares destinados para **estacionamiento de bicicletas** para facilitar la masificación de este medio de transporte.

Reglamento Artículo 105.- Los GADs deberán exigir en proyectos de edificaciones y áreas de acceso público, zonas exteriores destinadas para **circulación y parqueo de bicicletas**, dando la correspondiente facilidad a las personas que utilizan este tipo de transportación en **viajes pendulares**.

Reglamento Artículo 106.- Los GADs deberán exigir a las entidades públicas que cuenten con **áreas de estacionamientos para bicicletas** y áreas de aseo para sus usuarios.

Reglamento Artículo 107.- Los GADs metropolitanos y municipales incentivarán la realización de ciclovías recreativas (ciclopaseos), en los que se destinarán vías para la circulación exclusiva de bicicletas.

Reglamento Artículo 302.- Los ciclistas tendrán las siguientes obligaciones: **1.** Mantener sus bicicletas equipadas con los siguientes aditamentos de seguridad: Frenos de pie y mano, dispositivos reflectantes en los extremos delantero de color blanco y posterior de color rojo, dispositivos reflectantes en pedales y ruedas. Para transitar de noche, la bicicleta **debe tener luces** trasera y delantera en buen estado;

2. Mantener la bicicleta y sus partes en buen estado mecánico, en especial los frenos y llantas;

3. Abstenerse de llevar puestos auriculares que no permitan una correcta audición del entorno;

4. Respetar la prioridad de paso de los peatones, en especial si son embarazadas, niños, niñas, adultos mayores de 65 años, invidentes, personas con movilidad reducida y personas con discapacidad;

5. Abstenerse de circular por los carriles de media y alta velocidad;

6. Abstenerse de circular por las aceras o por lugares destinados al tránsito exclusivo de peatones. En caso de necesitar hacerlo, bajarse de la bicicleta y caminar junto a ella;

7. Abstenerse de asirse o sujetarse a otros vehículos en movimiento;

8. Abstenerse de realizar maniobras repentinas;

9. Abstenerse de retirar las manos del manubrio, a menos que haya necesidad de hacerlo para efectuar señales para girar o detenerse y hacer uso anticipado de señales manuales advirtiendo la intención cuando se va a realizar un cambio de rumbo o cualquier otro tipo de maniobra, señalando con el brazo derecho o izquierdo, para dar posibilidad de adoptar las precauciones necesarias;

10. Llevar a bordo de forma segura sólo el número de personas para el que exista asiento disponible en las bicicletas cuya construcción lo permita, siempre y cuando esto no disminuya la visibilidad o que incomode en la conducción. En aquellas bicicletas que, por construcción, no puedan ser ocupadas por más de una persona, siempre y cuando el conductor sea mayor de edad, podrá llevar un menor de hasta siete años en asiento adicional;

11. Abstenerse de transportar personas en el manubrio de la bicicleta o entre el conductor y el manubrio; y,

12. Abstenerse transportar carga que impida mantener ambas manos sobre el manubrio, y un debido control del vehículo o su necesaria estabilidad o que disminuya la visibilidad del conductor.

Cuidado del medio ambiente

Artículo 88.- En materia de tránsito y seguridad vial, la presente Ley tiene por objetivo, entre otros, los siguientes:

H) La reducción de la **contaminación ambiental, producida por ruidos y emisiones de gases emanados de los vehículos a motor; así como la visual** ocasionada por la ocupación indiscriminada y masiva de los espacios de la vía pública.

Artículo 212.- Los importadores y ensambladores de automotores son responsables de que los vehículos tengan dispositivos anticontaminantes.

Artículo 214.- Se prohíbe la instalación en carreteras de vallas, carteles, letreros luminosos, paneles publicitarios u otros similares que distraigan a los conductores y peatones, afecten la seguridad vial, persuadan o inciten a prácticas de conducción peligrosa, antirreglamentaria o riesgosa.

Reglamento Artículo 174.- Se prohíbe dentro del área intracantonal el uso de la bocina y de dispositivos sonoros, que sobrepasen los límites permitidos.

Reglamento Artículo 327.- Ningún vehículo que circule en el país, podrá emanar o arrojar gases de combustión que excedan del 60 % en la escala de opacidad establecida en el Anillo Ringelmann o su equivalente electrónico.

Peatones

Artículo 198.- Son derechos de los peatones los siguientes:

A) Contar con las garantías necesarias para un tránsito seguro;

B) Disponer de vías **públicas libres de obstáculos** y no invadidas;

- C) Contar con infraestructura y señalización vial adecuadas que brinden seguridad;
- D) Tener preferencia en el cruce de vía** en todas las intersecciones reguladas por semáforos cuando la luz verde de cruce peatonal esté encendida; todo el tiempo en los cruces cebra, con mayor énfasis en las zonas escolares; y, en las esquinas de las intersecciones no reguladas por semáforos procurando su propia seguridad y la de los demás;
- E) Tener **libre circulación sobre las aceras** y en las zonas peatonales exclusivas;
- F) Recibir orientación adecuada de los agentes de tránsito sobre señalización vial, ubicación de calles y nominativas que regulen el desplazamiento de personas y recibir de estos y de los demás ciudadanos la asistencia oportuna cuando sea necesario.

Artículo 199.- Durante su desplazamiento por la vía pública, los peatones deberán cumplir lo siguiente:

- A) Acatar las indicaciones de los agentes de tránsito y las disposiciones que para el efecto se dicten;
- B) Utilizar las calles y aceras para la práctica de actividades que no atenten contra su seguridad, la de terceros o bienes;
- C) Abstenerse de solicitar transporte o pedir ayuda a los automovilistas en lugares inapropiados o prohibidos;
- D) Cruzar las calles por los cruces cebra y pasos elevados o deprimidos. De no existir pasos cebra, cruzar por las esquinas de las intersecciones;
- E) Abstenerse de caminar sobre la calzada de las calles abiertas al tránsito vehicular;
- F) Abstenerse de cruzar la calle por la parte anterior y posterior de los automotores que se hayan detenido momentáneamente;
- G) Cuando no existan aceras junto a la calzada, circular al margen de los lugares marcados y, a falta de marca, por el espaldón de la vía y siempre en sentido contrario al tránsito de vehículos;
- H) Embarcarse o desembarcarse de un vehículo sin invadir la calle, sólo cuando el vehículo esté detenido y próximo a la orilla de la acera;
- I) Procurar en todo momento su propia seguridad y la de los demás.

Reglamento Artículo 163.- Las aceras son para **uso exclusivo** de los peatones. Excepcionalmente podrán ser utilizadas por los vehículos para atravesarlas para ingresar o salir de los estacionamientos.

Reglamento Artículo 164.- Las bermas sólo podrán ser usadas por los vehículos, con precaución, para circulación de emergencia y detenciones de igual carácter. Los peatones podrán usarlas para **transitar de frente al sentido de la circulación**, cuando no existan otras zonas transitables más seguras.

Reglamento Artículo 211.- En las intersecciones no reguladas (sin semáforo) o zonas delimitadas para el paso de peatones, los conductores deberán otorgar la preferencia de paso a los peatones.

Reglamento Artículo 265.- Los peatones y las personas con movilidad reducida que transitan en artefactos especiales manejados por ellos mismos o por terceros como: andadores, sillas de ruedas, sillas motorizadas, y otros, tendrán derecho a:

1. Hacer uso de la calzada en forma excepcional en el caso de que un obstáculo se encuentre bloqueando la acera. En tal caso, debe tomar las precauciones respectivas para salvaguardar su integridad física y la de terceros;
2. Tener derecho de paso respecto a los vehículos que cruzan la acera para ingresar o salir de áreas de estacionamiento;
3. Continuar con el cruce de vía una vez que este se haya iniciado, siempre y cuando haya tenido preferencia de cruce, aún cuando la luz verde del semáforo haya cambiado;
4. Tener derecho de paso en los casos en que tanto el peatón como el automotor tengan derecho de vía en una intersección, cuando el automotor vaya a girar hacia la derecha o izquierda; y,
5. Contar con la ayuda necesaria por parte de personas responsables y en especial de los agentes de tránsito, al momento de cruzar las vías públicas, en el caso de que los peatones sean niños o niñas menores de diez años de edad, adultos mayores de 65 años de edad, invidentes, personas con movilidad reducida u otras personas con discapacidad.

Transporte público

Artículo 201.- Los usuarios del servicio de transporte público de pasajeros tienen derecho a:
D) Denunciar las deficiencias o irregularidades del servicio de transporte de conformidad con la normativa vigente;

E) Que se respete las tarifas aprobadas, en especial la de los niños, estudiantes, adultos mayores de 65 años de edad y personas con discapacidad.

Artículo 202.- Los usuarios o pasajeros del servicio de transporte público tendrán las siguientes obligaciones:

C) Exigir la utilización de las paradas autorizadas para el embarque o desembarque de pasajeros, y solicitarla con la anticipación debida;

D) Abstenerse de ejecutar o hacer ejecutar **actos contra el buen estado de las unidades de transporte y el mobiliario** público;

E) En el transporte público urbano **ceder el asiento** a las personas con discapacidad, movilidad reducida y grupos vulnerables;

F) No fumar en las unidades de transporte público;

G) No arrojar desechos que contamine el ambiente, desde el interior del vehículo.

Reglamento Artículo 169.- En el transporte público de pasajeros, los conductores **circULARÁN con las puertas cerradas** y únicamente la abrirán para dejar o recoger pasajeros en los sitios establecidos para el efecto.

Reglamento Artículo 191.- Los límites máximos y rangos moderados de velocidad vehicular permitidos en las vías públicas, con excepción de trenes y autocarriles, son los siguientes:

- Urbana 40 Km/h
- Perimetral 70 Km/h
- Rectas en 90 Km/h
- Curvas en 50 Km/h

Reglamento Artículo 291.- Los usuarios del servicio de transporte público de pasajeros tienen derecho a:

1. Exigir a los operadores y controladores que no se fume dentro de las unidades de transporte;
2. Exigir de los operadores mantener un volumen adecuado de las radios, de manera que no perturbe a los pasajeros y pasajeras;

3. Exigir que la unidad de servicio de transporte no lleve más pasajeros del número permitido por sobre la capacidad establecida en la Ley Orgánica de Transporte Terrestre y el presente Reglamento, para lo cual las unidades deberán contar con un dispositivo visible, que alerte a los pasajeros el momento en que la capacidad haya llegado a su límite;

4. Tener a disposición y de forma visible la información sobre las características y razón social del vehículo, así como la identificación de su conductor;

5. Realizar el embarque y desembarque sobre el costado derecho de la calzada y antes de un cruce, en los casos en que no se cuente con paradas señaladas durante un largo trayecto de la ruta del transporte intracantonal, intraprovincial, intrarregional, interprovincial e internacional;

6. Exigir del operador transportar sus bicicletas en las unidades de transporte público intracantonal, intraprovincial, intrarregional, interprovincial e internacional, sin ningún costo adicional, para lo cual las unidades deberán estar dotadas de estructuras portabicicletas.

7. Exigir que se recoja y desembarques pasajeros, únicamente en las paradas utilizadas para el efecto.

Reglamento Artículo 292.- Los usuarios o pasajeros del servicio de transporte público tienen las siguientes obligaciones:

1. Dar aviso a un agente de tránsito o de la policía nacional, o a la falta de este reportar telefónicamente a una estación de policía o de servicio de emergencias, en el caso de sospechar que el conductor de una unidad de servicio de transporte público esté realizando su labor bajo la influencia del alcohol, sustancias estupefacientes, narcolépticas o psicotrópicas, para lo cual deberá dar los datos que permitan identificar el vehículo;

2. Abstenerse de ingresar a la unidad de servicio de transporte público cuando se haya hecho la advertencia de que este está completo;

3. Abstenerse de ocupar los estribos o pisaderas del transporte público para viajar;

4. Abstenerse de distraer al conductor durante la marcha del vehículo;

5. Abstenerse de llevar consigo cualquier animal, salvo que exista en el vehículo lugar destinado para su transporte. Se exceptúan esta prohibición, siempre bajo su responsabilidad, a los invidentes acompañados de perros especialmente adiestrados como lazarillos, los mismos que deberán viajar provistos de bozal;
6. Abstenerse de transportar consigo materias, objetos peligrosos o armas en condiciones distintas de las establecidas en la regulación específica sobre la materia y sin los permisos respectivos;
7. Dar aviso al operador o al controlador del transporte sobre pasajeros que tengan actitudes que atenten contra la moral de terceros, que lleven consigo materias, objetos peligrosos o armas;
8. Exigir del operador realizar el embarque y desembarque de pasajeras y pasajeros de forma adecuada y velando por la seguridad de los mismos, es decir: efectuar las paradas y arrancadas sin sacudidas ni movimientos bruscos, deteniéndose completamente lo más cerca posible del borde derecho de la calzada;
9. Exigir al operador abstenerse de proveer de combustible a la unidad de transporte que conduce, con pasajeros en su interior.

Reglamento Artículo 324.- El radio instalado en los buses de transporte público, comercial y por cuenta propia, será para comunicación entre el operador y su central, o para efectos de información a los pasajeros. **Se prohíbe el uso de altavoces o parlantes** para difundir programas radiales o música que incomode a los pasajeros.

Automóviles y motos

Reglamento Artículo 179.- Está prohibido a los conductores estacionar su vehículo:

1. En los sitios en que las señales reglamentarias lo prohíban;
2. Sobre las aceras y rampas destinadas a la circulación de peatones;
3. En doble columna, respecto de otros ya estacionados, junto a la acera o cuneta en la carretera;
4. Al costado o lado opuesto de cualquier obstrucción de tránsito, excavación o trabajos que se efectúen en la calzada;
5. Dentro de una intersección;
6. En curvas, puentes, túneles, zonas estrechas de la vía, pasos a nivel, pasos deprimidos y sobre nivel, en cambio de rasante, pendientes, líneas y cruces de ferrocarril;
7. Obstruyendo el paso a entradas de garajes, rampas para entrada y salida de vehículos;
8. Frente a recintos militares y policiales;
9. Por más tiempo del autorizado por las señales reglamentarias en los sitios determinados para el efecto;
10. Dentro de las horas establecidas por los dispositivos de tránsito o señales correspondientes;
11. A una distancia menor de 12 m. del punto de intersección (PI) de una bocacalle, de las entradas de hospitales o centros de asistencia médica, cuerpos de bomberos o hidrantes de servicio contra incendios;
12. A menos de 20 m. de un cruce ferroviario a nivel;
13. Sobre o junto a un parterre central o isla de seguridad;
14. Dentro de 9 m. del lado de aproximación a un cruce peatonal intermedio; y,
15. A menos de 3 m. de las puertas de establecimientos educativos, teatros, iglesias, salas de espectáculos, hoteles, hospitales, entre otros.
16. Parar o estacionar en vías urbanas o carreteras el vehículo en lugares no autorizados para abordar o dejar pasajeros, hacerlo sin ocupar adecuadamente el espacio asignado o en el espacio adyacente a aquellos.

Reglamento Artículo 185.- Todo vehículo deberá llevar sus luces encendidas, entre las 18h00 y las 06h00 del día siguiente y, obligatoriamente, entre las 06h00 y las 18h00 si las condiciones atmosféricas (neblina, lluvia,) lo exigen. Los vehículos motorizados durante las horas indicadas en el inciso anterior, deberán circular dentro del área urbana con las luces bajas, salvo que el sitio por donde circulen carezca de alumbrado público.

Reglamento Artículo 189.- En las carreteras los conductores cambiarán de luz intensa a baja, en los siguientes casos:

1. Cuando circulen aproximadamente a 200 metros de un vehículo que viene en sentido contrario;

2. Cuando circulen a una distancia de 200 metros por detrás de otro vehículo;
3. Cuando un vehículo que viene en sentido contrario realice el cambio de luces de intensa a baja;
4. En cumplimiento de una señal regulatoria de cambio de luces.

Reglamento Artículo 191.- Los límites máximos y rangos moderados de velocidad vehicular permitidos en las vías públicas, con excepción de trenes y autocarriles, son los siguientes:

1. Para vehículos livianos, motocicletas y similares:

- Urbana 50 Km/h
- Perimetral 90 Km/h
- Rectas en 100 Km/h
- Curvas en 60 Km/h

Reglamento Artículo 196.- Para rebasar o adelantar, el conductor de un vehículo deberá observar lo siguiente:

1. Asegurarse de que existe el espacio suficiente para adelantar;
2. Cerciorarse de que las señales no lo prohíban;
3. Verificar que no existan vehículos en el campo visual anterior y posterior que signifiquen peligro para realizar la maniobra;
4. Hacerlo siempre por la izquierda;
5. Señalizar con luces direccionales o con señales manuales;
6. Asegurarse de que no es rebasado por otro vehículo al mismo tiempo; y, 7. Una vez que se haya rebasado al otro vehículo, de inmediato deberá incorporarse al carril de la derecha, tan pronto le sea posible y haya alcanzado una distancia suficiente para no obstruir la marcha del vehículo rebasado.

Reglamento Artículo 197.- El conductor de un vehículo al que se intente rebasar o adelantar deberá conservar su derecha y no aumentar la velocidad de su vehículo.

Reglamento Artículo 198.- Los conductores de vehículos se abstendrán de adelantar o rebasar a otro vehículo que se hubiere detenido ante una zona de paso de peatones o que circule en curvas e intersecciones, túneles, pasos a desnivel, así como para adelantar a otro vehículo que circule a la velocidad máxima permitida.

Reglamento Artículo 211.- En las intersecciones no reguladas (sin semáforo) o zonas delimitadas para el paso de peatones, los conductores deberán otorgar la preferencia de paso a los peatones.

Reglamento Artículo 212.- Cuando el conductor tenga que cruzar la acera para entrar o salir de un estacionamiento, deberá obligatoriamente respetar la preferencia de paso de los peatones, ciclistas y vehículos.

Reglamento Artículo 213.- En las vías reguladas por semáforos, cuando indiquen luz roja, bajo la estricta responsabilidad del conductor y siempre que no existan vehículos circulando en sentido contrario, podrá virar hacia la derecha extremando las precauciones necesarias.

Reglamento Artículo 219.- Todo conductor, ante la aproximación de un vehículo de emergencia que transita con ocasión del cumplimiento de sus funciones específicas, haciendo uso de sus señales auditivas y visuales, observará las siguientes reglas:

1. El conductor de otro vehículo que circule en el mismo sentido, debe ceder el derecho de vía conduciendo su vehículo hacia el costado derecho de la calzada lo más cerca posible del borde de la acera o de la cuneta en la carretera, deteniéndose si fuere necesario hasta que haya pasado el vehículo de emergencia;
2. Los vehículos que lleguen a una intersección, a la cual se aproxima un vehículo de emergencia, deberán detenerse o ceder su derecho de vía; y,
3. Cuando un vehículo de emergencia se aproxime a un cruce con luz roja u otra señal de detención, deberá reducir la velocidad y cruzar solamente cuando los demás vehículos le hayan cedido el paso y no exista peligro de accidente.

Reglamento Artículo 273.- Ante la presencia de peatones sobre las vías, disminuirán la velocidad y de ser preciso detendrá la marcha del vehículo y tomarán cualquier otra precaución necesaria.

Reglamento Artículo 274.- Se prohíbe abastecer de combustible a los vehículos cuando el motor se encuentre encendido.

Reglamento Artículo 275.- Se prohíbe efectuar maniobras o depositar en la vía pública materiales de construcción u objetos que impidan o dificulten la circulación de vehículos y peatones, salvo cuando la autoridad competente lo haya autorizado.

Reglamento Artículo 277.- Los conductores no podrán transportar en los asientos delanteros a menores de 12 años de edad o que por su estatura no puedan ser sujetados por el cinturón de seguridad, estos deberán viajar en los asientos posteriores del mismo tomando todas las medidas de seguridad reglamentariamente establecidas.

Reglamento Artículo 279.- Los conductores tomarán las medidas de seguridad necesarias para evitar que los ocupantes o acompañantes sobre todo los menores de edad o infantes viajen de pie en el interior del vehículo, que **saquen por las ventanillas las extremidades** de su cuerpo, y por ningún motivo abran las puertas del mismo cuando se encuentre en movimiento.

Reglamento Artículo 280.- Cuando el semáforo permita el desplazamiento de vehículos en una vía, pero en ese momento no haya espacio libre en la cuadra siguiente para que los vehículos avancen, queda prohibido continuar la marcha cuando al hacerlo obstruya la circulación vehicular en la intersección. Esta regla se aplicará también cuando la vía carezca de semáforos.

Reglamento Artículo 283.- Queda prohibido a los conductores utilizar la marcha hacia atrás, salvo para: estacionamientos, incorporación a la circulación o para facilitar la libre circulación.

Reglamento Artículo 284.- Los conductores de motocicletas y similares deberán abstenerse de:

1. Sujetarse a cualquier otro vehículo que transite por la vía pública;
2. **Transitar en forma paralela** o rebasar sin cumplir las normas previstas en este Reglamento para la circulación de vehículos;
3. Llevar cualquier tipo de carga que dificulte su visibilidad, equilibrio, adecuada operación o que constituya un peligro para sí o para otros usuarios en la vía pública;
4. Realizar virajes o giros **sin utilizar las señales** respectivas;
5. **Circular sobre las aceras** y áreas destinadas al uso exclusivo de peatones;
6. Transportar a personas con discapacidad, sin equipamiento y las medidas de seguridad necesarias;
7. Transportar a personas o niños que por su estatura o edad no viajen con las medidas de seguridad necesarias

ANEXO 8:

<https://www.seguridadentuneles.com/2011/08/03/iluminacion-de-emergencia-y-seguridad-en-tuneles-carreteros/>

Iluminación de Seguridad y Emergencia en túneles carreteros

POR ENRIQUE OÑORO · PUBLICADA 03/08/2011 · ACTUALIZADO 10/10/2015

Definiciones

Para evitar confusiones, debidas a la disparidad de denominaciones y funciones de estos dos sistemas entre las distintas normativas y documentos de referencia, en esta entrada vamos a emplear la establecida en el Real Decreto 635/2006¹.

Iluminación de Seguridad:

El R.D. 635/2006² establece:

«La iluminación de seguridad se proporcionará de modo que permita una visibilidad mínima para que los usuarios del túnel puedan evacuarlo en sus vehículos en caso de avería del suministro de energía eléctrica. «

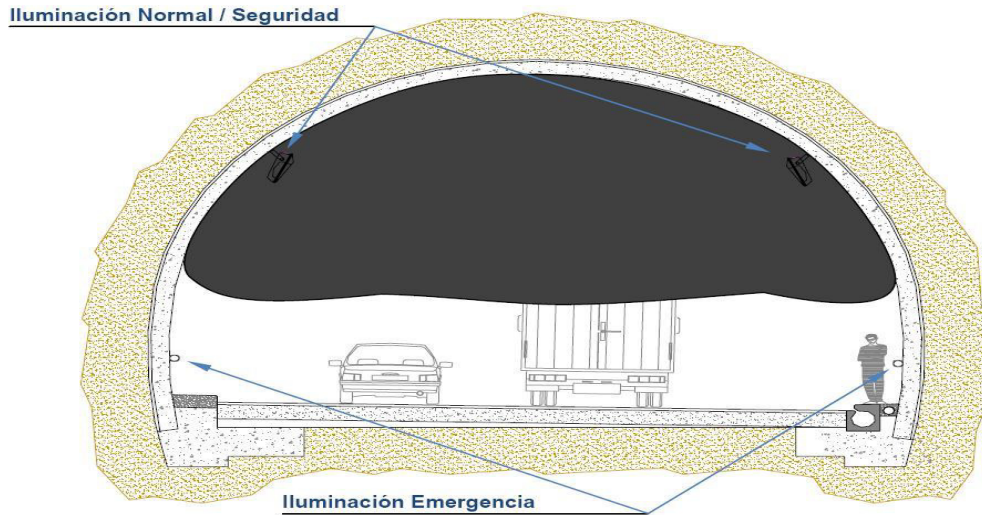
En otros documentos como las Recomendaciones el Ministerio de Fomento³ o la norma británica BD 78/99⁴ la iluminación de seguridad además incluye las funciones de iluminación de reemplazamiento, función respecto a la cual ni la Directiva europea 2004/54/CE⁵ ni el R.D. 635/2006⁶ establecen ningún requerimiento.

Iluminación de Emergencia:

R.D. 635/2006⁷:

«La iluminación de emergencia, estará a una altura no superior a 1,5 metros y deberá proyectarse de modo que permita guiar a los usuarios del túnel para evacuarlo a pie con un mínimo de 10 lux ó 0,2 cd/m²«.

Su función es de guiado y balizamiento, indicando a los usuarios la ruta de evacuación. Se ubica a baja altura en previsión de que durante un incendio los equipos de alumbrado normal queden oscurecidos debido al humo estratificado en la zona superior del túnel.



Criterios de diseño

En la siguiente tabla se recogen los requerimientos y recomendaciones especificados en distintas normativas y documentos de referencia para ambos sistemas. Debido a la disparidad de denominaciones, en la cabecera de la tabla se ha tomado la del R.D. 635/2006⁸, mientras que en cada celda se indica la empleada en el documento correspondiente.

	Iluminación de Seguridad	Iluminación de Emergencia
(¿?) Proyecto de R.D. por el que se modifica el R.D. 635/2006. Versión 13 (Borrador)	Iluminación de Emergencia por interrupción del suministro eléctrico.	Iluminación de evacuación en caso de incidente. H ≤ 1,5 m E _{min} = 1 lux en un eje longitudinal paralelo al hastial separado 0,5 m del mismo
(2006) Real Decreto 635/2006.	Iluminación de Seguridad	Iluminación de Emergencia H ≤ 1,5 m E _{¿?} = 10 lux ó L _{¿?} = 0,2 cd/m ²
(2004) Directiva Europea 2004/54/CE.	Iluminación de Seguridad	Iluminación de Evacuación H ≤ 1,5 m
(1990) Recomendaciones M. Fomento.	Alumbrado de Emergencia Máx. (L _m = 0,1·L _{in} ; 0,2 cd/m ²)	Alumbrado de Guiado de Emergencia en caso de incendio. H ≈ 0,5m Interdistancia < 50 m
(2000) Circulaire interministérielle n° 2000-63.	Alumbrado de Emergencia E _m = 10 lux E _{mín} = 2 lux Sobre aceras y calzada.	Balizamiento luminoso H ≈ 1 m Interdistancia ≈ 10 m
(2008) NFPA 502: 2008	Iluminación de Emergencia. E _m ≥ 10 lux E _{mín} = 1 lux E _{max} /E _{min} = máximo 40 / 1 Sobre aceras y calzada.	

Iluminación de Seguridad

El R.D. 635/2006⁹ no especifica ni niveles de alumbrado ni superficie a iluminar.

Respecto a otras normativas el criterio más empleado es el de una iluminancia media mínima de E_m = 10 lux sobre la calzada y en algunos casos también sobre aceras.

Iluminación de Emergencia

En el caso de la iluminación de emergencia (guiado – balizamiento), el R.D.635/2006 10 establece unos niveles mínimos de 0,2 cd/m² o 10 lux, pero sin especificar si son valores medios o mínimos ni la superficie.

En el caso de la norma francesa¹¹, lo que se fija es una interdistancia máxima entre equipos, en este caso de 10 m, las Recomendaciones el Ministerio de Fomento¹² establecen una separación no superior a 50 m.

Según se observa en la tabla, los niveles de iluminación exigidos por el R.D. 635/2006¹³ no concuerdan con los del resto de normativas. Parece que hay una confusión entre los de la Iluminación de Emergencia y la de Seguridad, ya que respecto a otras normativas dichos niveles están intercambiados.

Los 10 lux ó 0,2 cd/m² mínimos que el R.D. 635/2006¹⁴ fija para la Iluminación de Emergencia concuerdan más con los en otras normativas exigen para la Iluminación de Seguridad; sistema para el cual el R.D. 635/2006¹⁵ no establece ningún requerimiento.

Aunque esto parece que se solucionará cuando se publique el R.D. que modificará al vigente 635/2006 (todavía un borrador), que como vemos cambia tanto la denominación actual como los requerimientos de niveles de alumbrado, más coherentes con el resto de normativas.

Como ya se ha comentado, el R.D. 635/2006¹⁶ no especifica sobre que superficie se han de dar los 10 lux ó 0,2 cd/m² mínimo requeridos para la Iluminación de Emergencia. Uno de los criterios habituales es tomar las aceras como dicha superficie de referencia (una E de 10 lux sobre la calzada desde un altura inferior a 1,5 m requeriría un número desproporcionado de equipos).

Uniformidad

Ni el R.D. 635/2006¹⁷ ni la Directiva Directiva 2004/54/CE¹⁸ establecen ningún requerimiento respecto a la uniformidad de iluminación. Valores orientativos podemos tomarlos del manual de diseño BD 78/99¹⁹, en el que se especifica que el nivel de iluminación de seguridad, tanto en calzada como en las aceras, será de un valor promedio mínimo de 10 lux y no menos de 1 lux en cualquier punto; o de la NFPA-502:2008²⁰ que establece una relación E_{max}/E_{min} de máximo 40 / 1.

Equipos de iluminación

Iluminación de Seguridad

Habitualmente se emplean los proyectores del alumbrado normal de túnel (en concreto parte de los equipos del primer nivel de alumbrado o alumbrado base), los cuales se alimentan desde una fuente de suministro sin corte o de corte breve.

Iluminación de Emergencia

Entre las soluciones más comunes están las luminarias con lámpara fluorescente y últimamente las balizas LED, aunque su utilización está limitada por los niveles de iluminación exigidos por el R.D. 635/2006²¹.

Suministro eléctrico

Aunque el R.D. 635/2006²² especifica, en función de las características del túnel, los requisitos generales del suministro eléctrico (Grupo electrógeno, SAI, doble acometida, etc.), no concreta las características del suministro para los sistemas de Iluminación de Emergencia y Seguridad. Otras normativas como la NFPA-502:2008²³ si especifican que la Iluminación de Emergencia, las luces de salida y las señales esenciales deberán estar alimentadas por una fuente de suministro de emergencia.

Iluminación de Seguridad

Como ya se ha comentado, el R.D. 635/2006²⁴ establece que su función es la de permitir la evacuación de los conductores en sus vehículos, las Recomendaciones el Ministerio de Fomento²⁵ (en las que a este sistema se denomina Alumbrado de Emergencia) son más específicas y añaden otra función :

«Minimizar, en el momento del corte del fluido eléctrico, la reacción instintiva de los conductores de los vehículos a frenar rápidamente, lo que podría ocasionar múltiples colisiones.»

Para ello hay que asegurar que la iluminación de seguridad entra en servicio en el menor tiempo posible, las Recomendaciones el Ministerio de Fomento²⁶ establecen un tiempo de menos de medio segundo. En el caso de la BD 88/99²⁷ se exige que al menos una de cada diez luminarias del primer nivel de alumbrado (base) estén alimentadas desde SAI. Iluminación de Emergencia

Habitualmente se emplean equipos dotados de batería autónoma o alimentados desde una fuente de suministro de emergencia.

1. REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. [[↗](#)]
2. REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. [[↗](#)]
3. Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles. Ministerio de Fomento. Madrid. 1999. [[↗](#)]
4. DESIGN MANUAL FOR ROADS AND BRIDGES PART 9 BD 78/99 DESIGN OF ROAD TUNNELS [[↗](#)]
5. DIRECTIVA 2004/54/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO De 29 de abril de 2004 sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras. [[↗](#)]
6. REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. [[↗](#)]
7. REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. [[↗](#)]

8. REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo,sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. [[↗](#)]
9. REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo,sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. [[↗](#)]
10. REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo,sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. [[↗](#)]
11. ANNEXE N° 2 à la circulaire interministérielle n° 2000- 63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national [[↗](#)]
12. Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles. Ministerio de Fomento. Madrid. 1999. [[↗](#)]
13. REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo,sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. [[↗](#)]
14. REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo,sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. [[↗](#)]
15. REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo,sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. [[↗](#)]
16. REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo,sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. [[↗](#)]
17. REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo,sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. [[↗](#)]
18. DIRECTIVA 2004/54/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO De 29 de abril de 2004 sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras. [[↗](#)]
19. DESIGN MANUAL FOR ROADS AND BRIDGES PART 9 BD 78/99 DESIGN OF ROAD TUNNELS [[↗](#)]
20. NFPA 502: STANDARD FOR ROAD TUNNELS, BRIDGES, AND OTHER LIMITED ACCESS HIGHWAYS [[↗](#)]
21. REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo,sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. [[↗](#)]
22. REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo,sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. [[↗](#)]
23. NFPA 502: STANDARD FOR ROAD TUNNELS, BRIDGES, AND OTHER LIMITED ACCESS HIGHWAYS [[↗](#)]
24. REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo,sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. [[↗](#)]

25. Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles. Ministerio de Fomento. Madrid. 1999. [2]
26. Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles. Ministerio de Fomento. Madrid. 1999. [2]
27. DESIGN MANUAL FOR ROADS AND BRIDGES PART 9 BD 78/99 DESIGN OF ROAD TUNNELS [2]

ANEXO 9:

Ministerio de Fomento del Gobierno de España (2015).

CAPÍTULO 3

ELEMENTOS COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN

Los elementos componentes de una instalación de alumbrado de carreteras a cielo abierto son:

- Fuentes de luz.
- Equipos eléctricos auxiliares.
- Luminarias.
- Columnas y soportes.
- Dispositivos de regulación de flujo luminoso y consumo.
- Distribución eléctrica.
- Control y gestión de la instalación.

A continuación se describen sus características más importantes y los criterios que se deben tener en cuenta para la selección de los tipos más adecuados en cada caso.

3.1 Fuentes de luz

Estos elementos son los generadores de la emisión de luz que posibilita, en ausencia de la luz natural, la realización de la tarea visual de los usuarios de la carretera. No se va a realizar una descripción detallada de las mismas, con carácter general, ni de la forma de producir la emisión luminosa, ni de la variedad de modelos y formas; tan solo se indicarán aquellos parámetros que se consideran importantes para poder realizar una selección adecuada de las mismas.

La denominación "fuentes de luz" engloba toda la variedad de elementos que son capaces de generar luz. Hasta hace aproximadamente una década, las únicas fuentes de luz que se empleaban en instalaciones de alumbrado para carreteras eran las lámparas de descarga (las incandescentes no son utilizables por su cortísima duración de vida, del orden de unas 500 a 1500 horas), pero hace justo una década han aparecido los dispositivos emisores de luz de estado sólido, LED, que tienen unas excelentes prestaciones.

En general, las fuentes de luz deben responder a las exigencias siguientes:

- Conseguir, mediante su empleo, el cumplimiento de los criterios de calidad de iluminación (luminancia, uniformidad, etc.) de una instalación de alumbrado.
- Permitir economizar la energía eléctrica consumida, mediante unas buenas eficacia luminosa (lm/W) y eficiencia fotométrica.
- Cubrir (duración de vida) el mayor número posible de horas de funcionamiento de la instalación, que en el caso de alumbrado a cielo abierto se cifra en 4.200 horas/año aproximadamente.
- Hacer posible la mayor separación entre puntos de luz posible, manteniendo un flujo luminoso correcto y uniforme.
- Responder de la manera más instantánea posible a los fallos súbitos de alimentación eléctrica.
- Permitir la regulación de su flujo y consumo, para hacer posible instalaciones adaptables a las necesidades del tráfico.
- Responder adecuadamente a las condiciones climatológicas de la instalación (temperaturas extremas, etc.).
- Cumplir con la exigencia de limitar el resplandor luminoso.

Del análisis de las diferentes fuentes de luz en relación con las exigencias anteriores, se concluye que, para una instalación de alumbrado de carreteras a cielo abierto, las dos que mejor satisfacen las mismas con clara diferencia sobre las demás son:

- Lámparas de descarga de vapor de sodio de alta presión.
- Diodos Electroluminiscentes (LEDS).

Los otros tipos de fuentes de luz, tales como las lámparas fluorescentes, las lámparas de inducción, las lámparas de vapor de mercurio y de halogenuros metálicos y las lámparas de vapor de sodio de baja presión se descartan por los motivos siguientes:

- Bien por su baja eficiencia fotométrica y tamaño físico para conseguir un flujo luminoso suficiente, como es el caso de las lámparas fluorescentes o de las de inducción.
- Bien por su escasa eficacia luminosa (< 65 lm/W) y baja eficiencia energética, como es el caso de las lámparas de vapor de mercurio.
- Bien por su corta duración de vida útil (inferior a 12.000 h), como sucede con las lámparas de halogenuros metálicos.
- Bien por su mala eficiencia fotométrica (debida a su gran tamaño), su reducida cromaticidad y porque su tamaño físico condiciona las dimensiones de las luminarias y por tanto su coste a pesar de su elevada eficacia luminosa, como sucede con las lámparas de sodio baja presión.

Con objeto de tener una perspectiva de las características más importantes de los dos tipos más adecuados, a continuación se describen sus características.

3.1.1. Lámparas de vapor de sodio de alta presión

Las características de las lámparas de vapor de sodio alta presión son las que se exponen en la tabla 3.1. Los valores son orientativos, pero se encuentran bastante próximos a la generalidad de los fabricantes de lámparas más conocidos, pudiendo en algún caso haber diferencias inferiores al 10% en los valores de sus parámetros.

Potencia (W)	Flujo a 100h (lm)	Eficacia (lm/W)	Pérdidas en equipo (W) (**)	Eficacia conjunto lámpara+equipo (lm/W)	Vida útil (horas)	Índice rendimiento color (Ra)
70	6.600	94	11	81	14.000	23-25
100	10.500	105	13	93	16.000	23-25
150	16.500	110	20	97	18.000	23-25
250	32.500	130	29	116	18.000	23-25
400	55.500	139	33	128	18.000	23-25
600	90.000	150	50	138	18.000	23-25
1000	120.000	120	66	113	14.000	23-25

(*) Datos válidos en 2010

(**) Considerándose equipos inductivos

Tabla 3.1. Lámparas de vapor de sodio alta presión (*)

Las características de estas lámparas son:

- Como resumen energético, se puede afirmar que incluso teniendo en cuenta las pérdidas en el equipo eléctrico auxiliar, poseen una gran eficacia luminosa (80 lm/W para potencias pequeñas y hasta 140 lm/W para potencias mayores), además de

una muy buena eficiencia energética por su tamaño físico, lo que permite a las luminarias que la utilizan alcanzar factores de utilización del orden del 85%.

- Es conveniente aclarar que este tipo de fuente de luz es bastante estable en su funcionamiento eléctrico y además posee una vida útil elevada (más de 18.000 h, que equivalen a más de 4 años de funcionamiento en una instalación de alumbrado de carreteras, pudiendo llegar hasta las 25.000 horas con buen equipo y tensión apropiada).
- En cuanto a su característica de respuesta a fallos temporales en la alimentación de la red, este tipo de lámparas reenciende en caliente en un periodo inferior a los 3 segundos, tardando aproximadamente 5 minutos en alcanzar el 100% de su flujo luminoso nominal, lo que la convierte en una de las lámparas más flexibles en este sentido.
- También merece la pena destacar que esta lámpara puede regularse en flujo luminoso y consumo energético, mediante alguno de los tres sistemas mencionados en el REEIAE (Reglamento de Eficiencia Energética para Instalaciones de Alumbrado Exterior), balasto de doble nivel, estabilizador-reductor de cabecera de línea y balasto electrónico. Una reducción del flujo luminoso por cualquiera de estos sistemas de un 50%, permite ahorrar como término medio un 40% de la energía consumida.
- Como se puede apreciar a la vista del valor consignado, el rendimiento cromático de estas fuentes de luz es bajo (25 en una escala de 0 a 100), y su temperatura de color (2.100 Kelvin) le confiere un típico color amarillo dorado, muy habitual en todas las instalaciones de alumbrado público.



Por último, añadir que la Norma que regula la fabricación de estas lámparas es la UNE EN 60662, que fija los valores eléctricos de funcionamiento para cada uno de los diferentes tipos y potencias.

1.2. Diodos electroluminiscentes (LEDS)

En la tabla 3.2 se resumen las características generales de los LED.

TIPO DE LED	FLUJO LUMINOSO (lm)	TEMPERATURA DE COLOR (Kelvin)	APARIENCIA DE COLOR
R2 – R5	114 – 139	5000 – 8000	BLANCO FRÍO
R2 – R4	114 – 130	4000 – 5300	BLANCO PARA EXTERIOR
Q5 – R3	107 – 122	3700 – 5000	BLANCO NEUTRO
Q3 – Q5	94 – 107	2600 – 4300	BLANCO Ra 80
Q3 – Q5	94 – 107	2600 – 3700	BLANCO CÁLIDO
P4 – Q3	80,6 – 94	2600 – 3200	BLANCO Ra 85
P4 – Q2	80,6 – 87,4	2600 – 3200	BLANCO Ra 90

Tabla 3.2. Diodos electroluminiscentes de alta potencia (2011)

Las variaciones observadas de color para las diferentes temperaturas se deben a que para obtener el color blanco, se parte de un LED que emite en color azul, y para modificar esa longitud de onda desde el azul al blanco, se le suele superponer una capa de fósforo (de modo similar al modo de obtenerlo con las lámparas fluorescentes). Cuanto más gruesa es la capa de fósforo, más cálido será el color, pero menor será su transmitancia, y por tanto el flujo luminoso emitido.

Las características de esta fuente de luz son:

- La eficacia luminosa de estas fuentes de luz es igual al valor de su flujo luminoso, pues esta tabla está confeccionada para LED de 1 W de potencia nominal. No obstante, si se tiene en cuenta la agrupación de varios LED en un módulo, alimentados con una misma fuente de alimentación, la eficacia luminosa disminuye al tener en cuenta las pérdidas del equipo eléctrico, y por tanto se puede ver reducida en un 10%. Por tanto, puede hablarse, en función de las diferentes temperaturas de color, de un margen de variación de eficacia comprendido entre 75 y 125 lm/W, siendo menor cuanto más cálida es la temperatura del color y cuanto mayor es su índice de reproducción cromática. Habitualmente, en alumbrado de carreteras se suelen emplear LED de unos 95 – 100 lm/W de eficacia global.

En cuanto a su eficiencia energética, basada en sus capacidades fotométricas, debe indicarse que los LED emiten en general en un ámbito de 180 grados, pudiendo controlarse perfectamente la direccionalidad de su emisión mediante ópticas secundarias. Esto hace que sean mucho más eficientes que las lámparas de descarga que emiten en un ámbito de 360 grados.

- Este dispositivo emisor de luz es bastante simple de funcionamiento eléctrico, tal y como se desprende del hecho de que es un componente semiconductor por el que sólo circula corriente en una dirección, de ahí que su funcionamiento responda al gráfico siguiente:

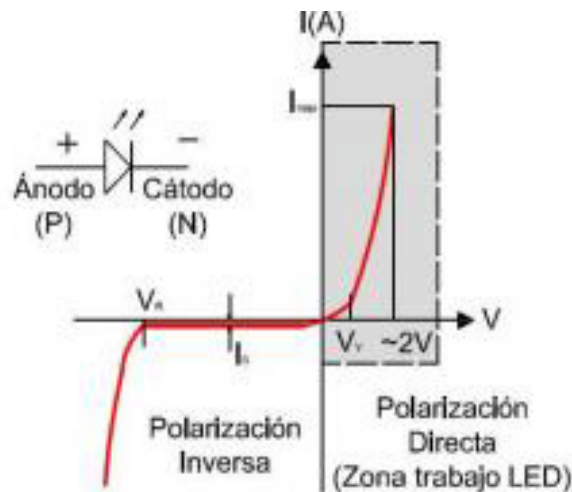


Figura 3.1. Funcionamiento del LED

- Respecto a la eficacia del LED, hay que tener en cuenta que a un mismo LED se le puede hacer trabajar a diferentes niveles de intensidad de corriente (normalmente 350mA, 750mA o 1A), dando como resultado que con el aumento de la corriente que circula en el LED, se incrementa también el flujo que emite, y al mismo tiempo la potencia consumida. Generalmente, la corriente para la cual la eficacia es mayor es 350mA, según se muestra en el gráfico adjunto.

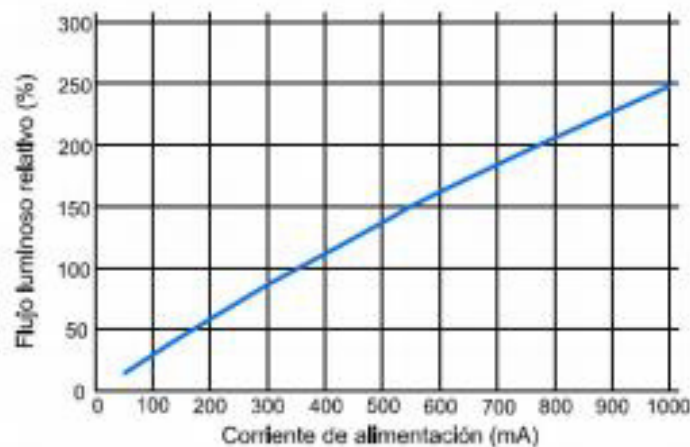


Figura 3.2. Influencia de la corriente de alimentación

- El LED es un elemento estable en su funcionamiento eléctrico, y además posee una vida útil bastante elevada (hasta 50.000 h, siempre que las condiciones térmicas de funcionamiento sean las adecuadas, lo que equivale a más de 12 años de funcionamiento en una instalación de alumbrado de carreteras). Su envejecimiento, que se debe en general a una depreciación luminosa en función de la temperatura de lo que se denomina como unión (junction en inglés), varía mucho con el valor de esta temperatura. En la gráfica siguiente se puede apreciar cómo varía el flujo luminoso emitido en función de la $T_{unión}$ (T_j).

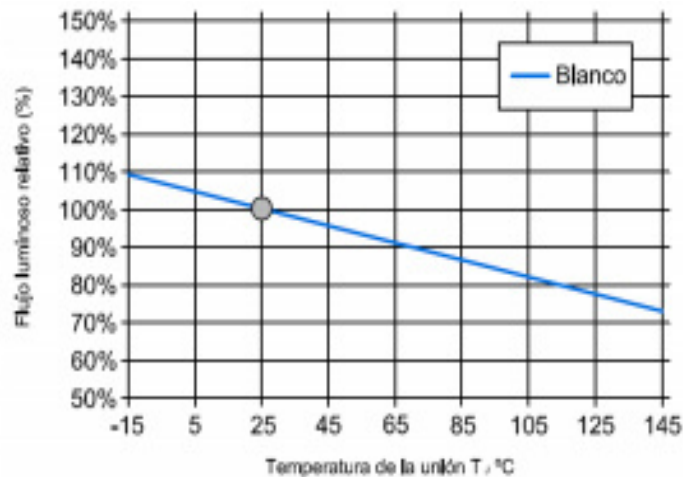


Figura 3.3. Flujo luminoso emitido en función de la temperatura de la unión

- En cuanto a su característica de respuesta a fallos temporales en la alimentación de la red, este tipo de lámparas reenciende en caliente instantáneamente, lo que la convierte en la fuente de luz más idónea en este sentido.
- Los LEDS, como ya se ha descrito, permiten su alimentación a distintas intensidades, por lo que puede regularse su flujo luminoso y consumo energético. Esta variación de la intensidad se logra a través de la fuente de alimentación, pudiendo hacer adaptable la instalación a las necesidades del tráfico, cumpliendo así con lo dispuestos en el REEIAE (Reglamento de Eficiencia Energética para Instalaciones de Alumbrado Exterior).
- El rendimiento cromático de estas fuentes de luz puede ser desde 65 a 90, como se observa en la tabla que se ha expuesto con sus características.

3.1.3. Relación entre la visibilidad y la cromaticidad de las fuentes de luz

Lo que aquí se recoge es el resumen de las investigaciones que se están llevando a cabo en varias Universidades y Centros de Investigación sobre la mejora de las condiciones de visibilidad y el comportamiento del ojo humano a los niveles de visión denominados mesópicos y también la evolución de la capacidad visual con la edad de las personas.

El tema es de una importancia manifiesta, por cuanto si los resultados definitivos de los estudios coinciden con las conclusiones que ya se tienen, se podrán disminuir los niveles de iluminación manteniendo una conducción de seguridad similar a la que existe actualmente (con niveles más elevados de iluminación).

Los resultados de estas investigaciones se recogen, entre otros, en los documentos redactados por el Comité TC 4-36 de la CIE en su documento titulado "Visibility Design for Roadway Lighting" (Diseño de Visibilidad para Alumbrado de Carreteras), que expone el estado actual de la técnica sobre cómo predecir la visibilidad. En él se describen 3 métodos:

- Nivel de visibilidad (VL) sobre objetivos planos y esféricos.
- Visibilidad de Pequeños Objetivos (STV) sobre objetivos planos.
- El concepto de Poder Revelador (RP), como un porcentaje del área superficial de la carretera en que la visibilidad puede ocurrir para objetivos planos.

La visibilidad de los objetos en el campo de visión periférico del ojo (visión periférica) es mejorada cuando se usan fuentes de luz blanca a los niveles típicos del alumbrado de carretera, lo cual puede ser muy importante dado que la seguridad en la carretera durante la noche está relacionada de modo muy estrecho con la visión periférica.

El único problema hasta ahora es que aún no se ha podido cuantificar exactamente la magnitud del beneficio de la visión periférica mejorada, pero a pesar de ello, gracias a las investigaciones llevadas a cabo, se ha podido comprobar que hay sustanciales diferencias en el dimensionamiento de la iluminación de una carretera dependiendo de si se usa la fotometría fotópica o mesópica (cuestiones que se están discutiendo en el marco del Comité TC 1-58 de la CIE denominado Visual Performance in the Mesopic Range).

No obstante para que los responsables de instalaciones se puedan hacer una idea de las ventajas del empleo de fuentes de luz blanca con buen rendimiento cromático, en los apartados siguientes se exponen sus características.

3.1.4. Características cromáticas de las fuentes de luz y su importancia a bajos niveles de iluminación

Hace mucho tiempo que se viene discutiendo sobre las ventajas que presentan algunos espectros de emisión de las fuentes de luz sobre la visión a bajos niveles de iluminación. Los términos "Visión Mesópica" y "Visión Escotópica" son claves en esta discusión. Si bien parecía interesante con las fuentes de luz convencionales, hasta el punto de que hay normas nacionales, tales como la BS que para unos determinados niveles de iluminación permiten reducir el nivel a conseguir con una lámpara de luz blanca con buen rendimiento cromático, esta situación se ha agudizado con la aparición de los LED como fuente de luz de futuro, y su interés en aplicaciones tales como el alumbrado exterior de carreteras y calles.

Como fundamentos básicos para la comprensión de lo que aquí se va a exponer conviene comenzar con los siguientes aspectos:

- Visión fotópica, escotópica y mesópica.
- Visión central y visión periférica.
- Visión del color en el rango mesópico.
- Efecto de la edad en la visión mesópica.

Una vez expuestos brevemente estos aspectos, se terminará con una breve y resumida exposición de la luminancia de adaptación en condiciones de alumbrado de carreteras.

Visión fotópica, escotópica y mesópica

Los conos y los bastones son las células sensibles a la luz que se encuentran en el ojo humano.

Visión fotópica: Los conos que están concentrados en la fovea de la retina del ojo son los responsables de que se formen imágenes nítidas, al tiempo que coloreadas, dado que existen conos sensibles al rojo, al verde y al azul. Ocupan principalmente el centro de la retina, por lo que son los responsables de la denominada visión "central". Los conos presentan la máxima actividad con luminancias de adaptación mayores de 3 a 10 cd/m², lo que se denomina visión fotópica.

La sensibilidad espectral con la visión fotópica está caracterizada por la curva V(λ) y alcanza su máxima sensibilidad a una longitud de onda de aproximadamente 555 nm, correspondiente a un color verde-amarillento. Debido a esto las fuentes de luz con un elevado contenido en amarillo pueden tener eficacias elevadas.

Normalmente, en la actualidad todas las mediciones de luz se hacen usando la función de eficiencia luminosa espectral fotópica.

Visión escotópica: Los bastones son células sensibles a la luz con una gran sensibilidad, su distribución en la retina aumenta en el área periférica de la misma, siendo su máxima concentración aproximadamente a 15° de la dirección de visión. En el área central de la fovea no hay bastones. Los bastones son por ello importantes en la visión periférica. Como hay muchos bastones interconectados la imagen formada no es nítida. A niveles de luminancia de adaptación inferiores a $0,01 \text{ cd/m}^2$, solo los bastones son activos, y en ese caso se habla de visión escotópica.

La sensibilidad espectral con la visión escotópica está caracterizada por la curva $V(\lambda)$, que es máxima a una longitud de onda de 505 nm, correspondiente al azul-verdoso, por lo que se observa un claro desplazamiento hacia el extremo azul del espectro.

Como una característica de cuán efectivo es el espectro de una fuente luminosa en visión escotópica, se usa la relación S/P. Es la relación entre la luminancia escotópica (según $V(\lambda)$) y la luminancia fotópica (según $V(\lambda)$) para ese espectro. La Tabla 3.3 da los valores típicos para las diferentes fuentes de luz usadas en alumbrado de carreteras.

Fuente de luz	Relación S/P
Sodio alta presión (amarillo-blanco)	0,65
Halogenuros metálicos (blanco cálido)	1,25
LED (blanco-cálido)	1,3
Halogenuros metálicos (blanco frío)	1,8
LED blanco rico en azul	2,15

Tabla 3.3. Relación S/P de cada fuente de luz.

Visión mesópica: A niveles de adaptación comprendidos entre $0,003$ y 10 cd/m^2 , tanto los conos como los bastones son activos. Cuanto menor es el nivel de adaptación más importantes son los conos. La sensibilidad espectral total se desplaza gradualmente en la dirección de las pequeñas longitudes de onda, es decir en la dirección del azul. Este efecto dependiente de la adaptación se denomina "efecto Purkinje". Con el fin de determinar el efecto práctico del desplazamiento gradual de la sensibilidad espectral en el área mesópica hay que distinguir entre visión central (foveal) y visión periférica.

Visión central y periférica

Visión central: Como en la fovea hay pocos bastones, las células que deciden el papel determinante son los conos. La curva $V(\lambda)$ proporciona una aceptable predicción de las prestaciones de la pequeña tarea central para niveles de adaptación mayores de $0,01 \text{ cd/m}^2$. Para este tipo de visión, pues, deben usarse unidades de luz fotópicas.

Visión mesópica periférica: Determinar la sensibilidad espectral real del sistema visual en circunstancias de visión mesópica periférica a diferentes niveles de adaptación es difícil pero no imposible. Por ello el procedimiento es determinar el efecto de diferentes espectros sobre criterios de prestaciones. En Europa un consorcio denominado MOVE usa tres criterios: ¿puede ser visto un objeto por un

conductor de un vehículo?, ¿con qué rapidez puede ser visto? y finalmente ¿puede ser reconocido?

Como resultado del efecto del espectro de la fuente de luz en el rango mesópico de la visión periférica, la Tabla 3.4 da resultados del modelo MOVE. La diferencia en porcentaje entre la luminancia calculada usando el modelo MOVE y la luminancia fotópica para fuentes de luz con diferentes valores de S/P están dadas para diferentes luminancias de adaptación.

	Luminancia de adaptación fotópica (cd/m ²)		
S/P	0,03	0,3	3
0,65	-24%	-10%	-3%
1	0%	0%	0%
1,35	20%	9%	3%
2,15	61%	28%	9%

Tabla 3.4. Luminancia de adaptación

Si se comparan las lámparas de sodio alta presión (S/P de 0,65) con LED blanco cálido (S/P de 1,35) y con LED blancos ricos en azul (S/P de 2,15), se puede observar que los niveles de iluminación con LED blanco cálido son efectivamente $10 + 9 = 19\%$ mayores y con LED blancos ricos en azul $10 + 28 = 38\%$ mayores que con el sodio alta presión para un nivel de adaptación de $0,3 \text{ cd/m}^2$. Estos porcentajes se refieren solo a visión periférica.

Visión de color en el rango mesópico

Como los conos, que permiten la visión de colores están aún parcialmente activos en el rango mesópico, puede esperarse que el reconocimiento del color a niveles de alumbrado de carreteras contribuye a las prestaciones visuales. Además, recientes ensayos han demostrado que el reconocimiento facial con un índice de rendimiento cromático de $R_a > 50$, es mucho más fácil que con lámparas de sodio alta presión con un R_a menor de 25. Así, con luz blanca de $R_a > 50$ es necesario tan solo la mitad del nivel de iluminación para obtener la misma posibilidad de identificación. Importante resaltar que es el rendimiento cromático el que mejora esta situación y no la temperatura de color. Como ya se ha dicho la norma BS 5489 permite una reducción de luminancia media del orden de un 30% cuando se usa una fuente de luz con un rendimiento cromático $R_a > 60$.

Efecto de la edad en la visión mesópica

Los estudios realizados por MOVE como muchos otros, se han llevado a cabo con sujetos de edades comprendidas entre 20 y 35 años. La lente del cristalino del ojo humano amarillea con la edad. Una de las consecuencias es la pérdida de visión del azul y del verde (longitudes de onda cortas). Si se compara la absorción de componentes azules de la luz blanca rica en azules entre un grupo de personas de edades comprendidas entre 60 y 69 años con el grupo de edades entre 20 y 35 años, se verá que para las personas de mayor edad al resultar filtradas esas longitudes de onda bajas por el amarilleamiento del cristalino, se pierde luz tanto para los conos como para los bastones. Por todo ello y según lo expuesto con anterioridad, posiblemente las ventajas de utilización de luz rica en azul no son aplicables a las personas mayores.

De lo expuesto se deduce que la utilización de LEDS tiene, en general, más ventajas que las que aportan las lámparas de vapor de sodio, si bien en cada caso habrá que llevar a cabo el estudio comparativo correspondiente.

3.2 Equipos electricos auxiliares

Son aquellos elementos que precisan las lámparas como complemento para su funcionamiento, estabilizando, de forma puntual o continua, la corriente de las lámparas. Se consideran equipos eléctricos auxiliares, los balastos, los condensadores y los arrancadores.

3.2.1 Equipos para lámparas de vapor de sodio de alta presión

Las lámparas de descarga tienen necesidad, para su funcionamiento correcto en conexión con la red de alimentación, de un equipo limitador de la intensidad, que por sus características de estabilizador, recibe el nombre de balasto. Los tipos de balasto pueden ser:

- Balasto de tipo inductivo o capacitivo
- Balasto con dos niveles de potencia o "de doble nivel"
- Balasto electrónico

3.2.1.1.- Balasto de tipo inductivo o capacitivo

El balasto de tipo inductivo está constituido por una inductancia, es decir una impedancia inductiva (bobina), en serie con la lámpara y que estabiliza la corriente de lámpara desfasando la tensión y la intensidad.

El balasto de tipo capacitivo está constituido por una impedancia capacitiva (capacidad) en serie con la lámpara y que estabiliza la corriente de lámpara, además de producir un desfase entre la tensión y la intensidad; el empleo de condensadores a la frecuencia de 50 Hz puede provocar descargas muy dañinas para las lámparas, por lo que no se suele emplear si no es a frecuencias mayores de 300 Hz.

Así pues, con carácter prácticamente exclusivo, se emplean los balastos inductivos, y no se utilizan los balastos capacitivos, porque las inductancias son unos elementos de circuito que provocan menos incidentes.

Además de los balastos inductivos, casi todos los tipos de lámparas de sodio de alta presión necesitan un dispositivo que les proporcione una tensión superior a la de la red para iniciar el arranque de la descarga. Dichos dispositivos se denominan genéricamente arrancadores.

Los balastos inductivos proporcionan una baja regulación de corriente y de potencia, siendo muy dependientes de la tensión de alimentación, hasta el punto de que su empleo está condicionado a que la tensión de alimentación no varíe en más de un $\pm 5\%$. Tienen además una característica a tener muy en cuenta que son las pérdidas debido al efecto Joule (por calentamiento del bobinado), de tal manera que como se puede apreciar en la tabla siguiente, se deben respetar ciertos límites del valor de pérdidas para que sean admisibles.

POTENCIA DE LÁMPARA (W)	PÉRDIDAS DEL EQUIPO (W)
70	11
100	13
150	20
250	29
400	33
600	50
1000	66

Tabla 3.5. Pérdidas de balastos inductivos admisibles para lámparas de vapor de sodio de alta presión

Los condensadores, que en los circuitos de lámpara tienen como función corregir el factor de potencia o desfase de la tensión e intensidad del circuito, se conectan en paralelo con la red.

Todos los balastos inductivos deberán cumplir lo exigido en las Normas UNE EN 60923:2006 y UNE-EN 61347-2-9:2003.

En cuanto a los arrancadores, definidos como los dispositivos que producen el pico de tensión necesario para iniciar la descarga en las lámparas de vapor de sodio de alta presión, pueden ser de varios tipos:

- en serie con la lámpara (de generación de impulsos independiente).
- en semi-paralelo (de impulsos dependientes del balasto al que va asociado).
- en paralelo (independiente).

Es muy importante tener cuidado con la capacidad de los cables que conectan el arrancador a la lámpara, de tal modo que si el arrancador se separa una cierta distancia de la lámpara, a veces puede no llegar a funcionar, si no es capaz de vencer dicha capacidad.

Las Normas que prescriben sus características son las UNE EN 61347-2-1:2002 y 60927.

3.2.1.2.- Balasto con dos niveles de potencia o "de doble nivel"

Los balastos de dos niveles de potencia o "de doble nivel" funcionan variando la intensidad de la lámpara y están constituidos por dos bobinas, una principal y otra auxiliar, conectadas en serie con la lámpara de modo que en un momento determinado, mediante un relé se pueda alterar la impedancia del conjunto de las dos bobinas, intercalando una de las dos o las dos en el circuito de lámpara, bien disminuyéndola para que la lámpara pase de un régimen reducido de flujo luminoso y potencia a un régimen máximo o nominal, o bien aumentándola para que la lámpara pase de un régimen máximo o nominal a un régimen reducido.

La forma de añadir o quitar la bobina auxiliar de la principal puede ser realizada a través de un relé cuya excitación se produce con una corriente denominada "de mando", de muy baja intensidad, que mediante un reloj se alimenta en un momento determinado de la noche para que se produzca el incremento de la inductancia y por tanto la reducción de la potencia y flujo de la lámpara. Con este tipo de balastos se puede reducir hasta un 50% el flujo luminoso de la lámpara, disminuyendo entre un 35 y un 40% la potencia consumida por el conjunto del punto de luz.

Hay varios sistemas para realizar este proceso, unos tipos lo hacen por presencia de corriente y otros por ausencia de la misma.

La corrección del factor de potencia en los equipos de doble nivel es defectuosa, pues al cambiar el valor de la inductancia debería variar la capacidad del circuito. Se pueden prever relés de varios contactos para alternar también una capacidad auxiliar y una primitiva, pero la complejidad del sistema no consigue sino introducir un elemento más de fallo.

El control sobre los balastos inductivos puede ser llevado a cabo por procedimientos eléctricos muy simples, tales como el de medida de impedancia, de potencia perdida, de factor de cresta, etc.

La norma aplicable a los balastos inductivos para lámpara de vapor de sodio alta presión es la UNE EN 61347-2-9:2003, aplicable a balastos para lámparas de descarga.

3.2.1.3.- Balasto electrónico

El balasto electrónico difiere totalmente del balasto inductivo; la estabilización y limitación de la corriente se logra mediante el control de la onda sinusoidal a través de componentes de un circuito electrónico, que además suele albergar también un variador de frecuencia, con lo que se hace funcionar a la lámpara a una frecuencia más apropiada para ella.

Este balasto no precisa ni de condensadores ni de arrancador, pues él regula el factor de potencia y produce el pico de tensión necesario para poder arrancar la lámpara. Se simplifica por ello el circuito de lámpara en cuanto a componentes, pero se introducen otros posibles puntos de fallo, como es el de la temperatura ambiente para un correcto funcionamiento (sabido es que los componentes electrónicos son muy sensibles a temperaturas superiores a 80° C).

A sus características añade la de estabilizar la tensión de alimentación en el margen admisible del $\pm 7\%$ que marca el Reglamento de Verificación de suministro, con lo que se prolonga la vida útil de las lámparas.

Para regular el flujo luminoso y el consumo de potencia y hacer la instalación adaptable a las condiciones del tráfico, el balasto electrónico regula la corriente de la lámpara, pues mediante la aplicación de una tensión de mando, corta una parte de la forma de onda sinusoidal de la misma. Reduciendo la intensidad de modo controlado se puede llegar a regular la lámpara, hasta dar tan solo un porcentaje de su flujo nominal, con ahorros de hasta el 50% de energía. Es el modo de regulación más adecuado para asegurar la estabilidad de la lámpara, puesto que el equipo electrónico mantendrá siempre la tensión de arco adecuada que necesite la lámpara para su buen funcionamiento.

3.2.2 Sistemas de alimentación para LED

Los LED tienen sus propias exigencias debido a la polarización de los mismos, lo que se debe llevar a cabo mediante lo que se ha dado en denominar "drivers", que es el término inglés del sistema de alimentación.

Hay diferentes sistemas de alimentación, entre los que cabe destacar 4 tipos diferentes:

- De resistencia limitadora.
- Fuente de tensión lineal.
- Fuente de tensión conmutada.
- Fuente de corriente.

Las características de los mismos son:

- Los sistemas de alimentación de resistencia limitadora emplean una resistencia en serie con los LED que limita la corriente a un valor seguro y regula la tensión aplicada. Son de bajo coste y elevada simplicidad, pero tienen una baja eficiencia y una pobre regulación de corriente.
- Los sistemas de fuente de tensión lineal están basados en una resistencia limitadora en la que estabilizamos la tensión de alimentación con una fuente lineal. Son de bajo coste y elevada simplicidad y aseguran una buena regulación de corriente, pero tienen una baja eficiencia.
- Los de tensión conmutada que transforman una tensión pulsatoria en una tensión de secundario continua de valor proporcional a la secuencia de los impulsos, son

sistemas de coste elevado y pueden plantear problemas de compatibilidad electromagnética; garantizan una buena eficiencia y una buena regulación de corriente así como permitir la reducción de flujo luminoso y consumo mediante una señal de control.

- La fuente de corriente se basa en circuitos conmutados complejos que garantizan una corriente de salida estable, con lo que no hace falta la resistencia limitadora. Son de coste muy elevado y pueden plantear problemas de compatibilidad electromagnética, pero garantizan una óptima eficiencia y regulación de corriente, así como permitir la reducción de flujo luminoso y consumo mediante una señal de control.

La normativa aplicable a estos sistemas está en preparación, pero ya existen las siguientes:

- UNE EN 62031 aplicable a Módulos LED para alumbrado general. Requisitos de seguridad.
- UNE EN 61347-2-13. Requisitos particulares para dispositivos electrónicos alimentados con corriente continua o corriente alterna para módulos LED.

3.3 Luminarias

Las luminarias son los componentes de la instalación de alumbrado que alojan las fuentes de luz y los equipos eléctricos auxiliares para su funcionamiento, al tiempo que se encargan de filtrar o transformar la luz emitida por la fuente de luz.

Las luminarias para alumbrado de carreteras a cielo abierto pueden ser de dos tipos:

- Luminarias de alumbrado vial.
- Proyectores.

3.3.1 Luminarias de alumbrado vial

Estas luminarias se caracterizan por su distribución asimétrica, en alas de murciélago, que permite su separación de otro punto de luz a una distancia considerable. Los parámetros fotométricos más importantes de la distribución luminosa que definen estas luminarias son: alcance, dispersión y control de deslumbramiento.

- El alcance es la distancia longitudinal a la que la luz emitida por la luminaria queda distribuida a lo largo de la calzada y queda definida por el ángulo de elevación de la parte central del haz.

ALCANCE	Corto	Intermedio	Largo
Ángulo	$\gamma_{\max} < 60^\circ$	$60^\circ \leq \gamma_{\max} \leq 70^\circ$	$\gamma_{\max} > 70^\circ$

Tabla 3.6. Alcances

- La dispersión es la distancia transversal a la que la luz emitida por la luminaria queda distribuida a lo ancho de la calzada, y se define mediante la posición de la línea, paralela al eje de la calzada, que es tangente al contorno de la curva del 90 % de la intensidad máxima de calzada γ_{90} .

DISPERSION	Estrecha	Media	Ancha
Ángulo	$\gamma_{90} < 45^\circ$	$45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$	$\gamma_{90} > 55^\circ$

Tabla 3.7. Dispersiones

- El control del deslumbramiento se define por el índice específico de la luminaria (IEL), que queda establecido del siguiente modo:

$$IEL = 13,84 - 3,91 \cdot \log I_{80} + 1,5 \cdot \log \left(\frac{I_{80}}{I_{88}} \right)^{0,5} - 0,08 \cdot \log \left(\frac{I_{80}}{I_{88}} \right) + 1,29 \cdot \log F + C$$

Donde:

- IEL = Índice específico de la luminaria
- I_{80} = Intensidad luminosa con un ángulo de elevación de 80° en dirección paralela al eje de la calzada, expresada en candelas (cd.).
- I_{88} = Intensidad luminosa con un ángulo de elevación de 88° en dirección paralela al eje de la calzada, expresada en candelas (cd.).
- I_{80}/I_{88} = Razón de la intensidad luminosa en 80° y 88° , denominada razón de retroceso.
- F = Superficie aparente del área limitada de la luminaria vista bajo un ángulo de 76° , expresada en m^2 .
- C = Factor cromático que depende del tipo de lámpara: sodio de baja presión +0,4; otras 0.

Los distintos grados de control del deslumbramiento para las luminarias son los siguientes:

CONTROL	Débil	Moderado	Fuerte
IEL	$IEL < 2$	$2 \leq IEL \leq 4$	$IEL > 4$

Tabla 3.8. Control de deslumbramiento

Los antiguos valores relativos a luminarias "cut-off", etc., han sido reemplazados por la tabla contenida en el REEIAE que especifica para cada clase de zona E, cuál debe ser el valor máximo del FHS (Flujo luminoso emitido hacia el hemisferio superior).

Estas luminarias normalmente se fabrican de aleación de aluminio inyectada o extruida, y en el caso de las luminarias para lámparas de vapor de sodio de alta presión las ópticas o el portalámparas tienen reglajes para adaptar su fotometría a las diferentes condiciones de las vías. En el caso de las luminarias para módulos de LED, la regulación de la fotometría se consigue mediante la disposición de los módulos y el empleo de ópticas adecuadas para los diferentes tipos de geometría de la carretera. Todas ellas se fijan al soporte o columna mediante una pieza incorporada a la luminaria que hace una función similar a la de una abrazadera.

Un parámetro a tener en cuenta en este tipo de luminarias es su superficie ó área de exposición al viento, ya que un mayor valor de ésta (peor coeficiente aerodinámico) supone también un mayor esfuerzo para el poste en el que va fijada y por lo tanto una mayor sección del mismo en su fabricación. Normalmente el fabricante proporciona el mayor valor de esta superficie para su vista lateral y su vista frontal ya que la Norma UNE EN 40-6 establece las cargas de viento sobre un elemento mediante la fórmula:

$$F = A \cdot C \cdot Q$$

Siendo:

A= Área proyectada por el elemento sobre un plano perpendicular al viento

C= Coeficiente de forma del elemento

Q= Presión de cálculo.

3.3.2 Proyectores

Los proyectores son luminarias fabricadas para poder "proyectar" el haz luminoso a distancia, es decir, para poder iluminar superficies alejadas del punto geométrico de su ubicación. Sirven en general para iluminar superficies amplias, sin limitaciones de geometría en general, y su distribución fotométrica no responde a la necesidad de cumplir con las exigencias de luminancia que si tienen las luminarias de alumbrado vial.

Los proyectores, fotométricamente, se pueden clasificar en 3 grupos:

- **Simétricos de revolución:** El cuerpo tiene forma de cono, con la base formada por el vidrio de cierre. Su distribución fotométrica responde a una proyección circular con centro en la perpendicular del aparato cuando éste mira perpendicularmente hacia el suelo. Al inclinarse da origen a elipses que se solapan para conseguir iluminar superficies. Estos proyectores tienen óptica parabólica o circular de tal forma que crean un haz intenso, por lo que se utilizan en grandes alturas o a grandes distancias de la superficie a iluminar. No deben emplearse en iluminación vial por su potencial deslumbramiento.
- **Simétricos rectangulares respecto de 2 ejes:** Su forma es de paralelepípedo y su óptica cilíndrica de sección parabólica en general, lo que junto a la colocación de la lámpara paralela al vidrio de cierre, hace que el proyector cree distribuciones lumínicas rectangulares, que cuando se inclina producen una forma trapezoidal con elevadas uniformidades en las superficies, siendo su intensidad máxima de valor limitado. No deben emplearse en iluminación vial por su potencial deslumbramiento, solo son aconsejables en casos excepcionales de iluminaciones singulares.
- **Simétricos rectangulares respecto de un solo eje o "asimétricos":** Como en el caso anterior, el cierre es de forma rectangular pero el cuerpo tiene una forma cilindro-parabólica desplazada, lo que unido a la forma de la óptica crea su propiedad más destacada: La intensidad máxima está desplazada de la perpendicular al cierre del proyector entre 55 y 65 grados, lo que en la mayor parte de los casos hace innecesaria su inclinación respecto de la horizontal para obtener una adecuada iluminación. Al mismo tiempo, su propia carcasa limita la emisión de luz fuera de los límites necesarios, por lo que son ideales para eliminar la luz intrusa y las emisiones al hemisferio superior. Son los que deben emplearse cuando se proyecten iluminaciones viales con torres de gran altura.

Los proyectores, por su forma y dimensiones bastante mayores que las de las luminarias de alumbrado vial, admiten también otras técnicas de fabricación de su cuerpo, tales como el repulsado o la extrusión.

En la tabla 3.9. se recogen las características que deben cumplir las luminarias que se empleen en las instalaciones de alumbrado de carreteras y puntos singulares.

TIPO DE LUMINARIA	AUTOVÍAS Y AUTOPISTAS	CARRETERAS CONVENCIONALES	INTERSECCIONES, GLORIETAS, NUDOS
Factor de utilización	80%	75%	65%
FHS	≤ 3%	≤ 3%	≤ 5%
Fotometría	Alcance: largo Dispersión: media – ancha Control: fuerte	Alcance: largo Dispersión: media – ancha Control: fuerte	Alcance: corto-intermedio Dispersión: media – ancha Control: moderado
Grado de protección (s/ UNE EN 60598)	IP 65	IP 65	IP 65
Clase eléctrica	Clase I o II	Clase I o II	Clase I o II
Cuerpo de luminaria	Al. inyectado	Al. inyectado o extruido	Al. inyectado o extruido
Capacidad en lámparas de descarga	Hasta 400 W de vapor sodio alta presión	Hasta 250 W de vapor sodio alta presión	Hasta 1000 W de vapor sodio alta presión
Capacidad en módulos de LED	Hasta 250 W	Hasta 150 W	Hasta 250 W

Tabla 3.9. Características de las luminarias de alumbrado de carreteras.

Como documentación fotométrica imprescindible, al objeto de comprobar los cálculos que aporten los autores de los proyectos, se debe adjuntar la tabla de distribución de intensidades de la luminaria, así como su factor de utilización y el FHS de la luminaria.

ANEXO 10:

Cansinos (2015). Guía de Iluminación en túneles e infraestructuras subterráneas.

3.4. Iluminación en túneles largos

Los túneles en los que el conductor no tiene una percepción longitudinal de la luz natural diurna, se zonifican para proceder al análisis de la iluminación que requieren técnicamente. Esta división en zonas es compatible con un diagrama en ejes coordenados en el que las abscisas siguen el sentido de la dirección del tráfico y las ordenadas miden la luminancia en cada tramo.

Como se aprecia en la ilustración, las luminancias se suelen representar por:

- L_{20} : luminancia en la zona de acceso.
- L_{th} : luminancia en la zona umbral.
- L_t : luminancia en la zona de transición.
- L_{int} : luminancia en la zona interior del túnel.
- L_{ext} : luminancia en la zona exterior del túnel.

Las variables fotométricas fundamentales para el análisis requerido son:

- Luminancia de la calzada.
- Luminancia en los primeros dos metros de altura de las paredes.
- Homogeneidad en la distribución de luminancia en calzada y paredes.
- Limitación del deslumbramiento.
- Control del efecto *Flicker*.

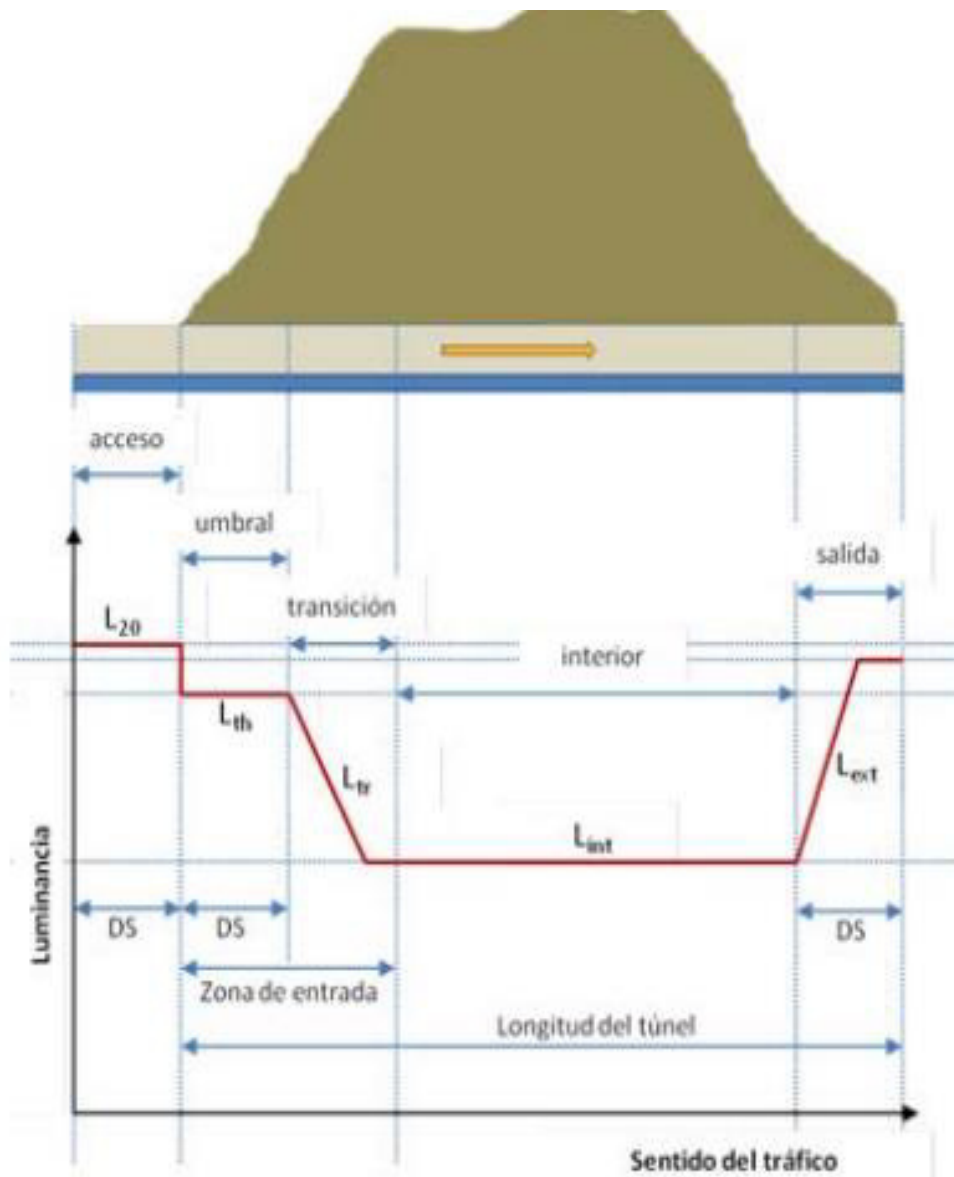


Figura 3.9. Zonificación del túnel.

3.4.1. Luminancia de la zona de acceso

La zona de acceso se define como la única a considerar en el diseño de la iluminación en éste que se encuentra a cielo abierto. Su longitud es equivalente a la distancia de seguridad definida para la vía y su determinación requiere que

desde esa distancia el conductor del vehículo pueda apreciar con cierta calidad un objeto situado en la zona de entrada al túnel. La definición de la zona L_{20} está directamente afectada por el entorno natural de la zona de acceso (orografía, hora solar, estación natural, meteorología, etc.). De todos los valores posibles que puede tomar a lo largo del año L_{20} se toma el valor máximo que se da con una frecuencia suficiente y a una distancia de la boca del túnel igual a la de seguridad.

Los métodos de mayor éxito para calcular L_{20} son empíricos; aunque pueden encontrarse más, se exponen aquí los más extendidos: método de aproximación y método exacto.

3.4.2. Método exacto

Se define un campo visual en forma de cono con un ángulo del 20%, vértice localizado en el ojo del conductor, colocado a una distancia igual a la distancia de seguridad y orientando el cono hacia la boca del túnel a una cuarta parte de su altura.

L_{20} no solo es importante por sí misma, sino que condiciona la luminancia de la zona umbral, entre otras consecuencias, por lo que su cálculo debe afinarse lo más posible. Para definir la situación concreta en cada caso se reproduce el escenario de la zona de acceso al túnel en un croquis, render, fotografía general o similar. Sobre el mismo se definen las variables necesarias para aplicar la siguiente fórmula física:

$$L_{20} = a.L_c + b.L_R + c.L_E + d.L_u$$

donde,

L_c = Luminancia del cielo.

L_R = Luminancia de la vía.

L_E = Luminancia del entorno.

L_u = Luminancia de la zona umbral.

a: tanto por uno de cielo presente en el croquis o imagen generada.

b: tanto por uno de carretera (vía) en el croquis o imagen generada.

c: tanto por uno de entorno (resto de espacios) en el croquis o imagen generada.

d: tanto por uno de boca del túnel en el croquis o imagen generada.

La definición de entorno (resto de los espacios, que no son ni boca de túnel, ni vía, ni cielo) determina que:

$$a + b + c + d = 1$$

Aunque se ha presentado L_{20} como variable despejada en la expresión utilizada, la variable a definir es la luminancia de la zona umbral, puesto que la del acceso viene definida por la distancia de seguridad de la vía. Si la distancia de parada de diseño es superior a 100 metros el porcentaje de boca del túnel es escaso, por debajo del diez por ciento (<10%) y como la contribución de la luminancia de la zona umbral ha de ser menor que la del resto de los elementos, ésta puede despreciarse en este caso específico ($DS > 100$ m.).

Estimación de luminancias (método exacto L_{20})						
Sentido de la conducción	L_c kcd/m ²	L_a kcd/m ²	L_t kcd/m ²			
			Roca	Edificios	Nieve	Vegetación
N	8	3	3	8	15	2
E-O	12	4	2	6	10(V). 15(H)	2
S	16	5	1	4	5(V). 15(H)	2

Figura 3.10. Método exacto.

Los valores de a, b, c y d se definen con los croquis referidos (véase Fig. 3.11). Si no se dispone de valores de luminancias existen tablas a las que recurrir para estimar sus valores. Se muestra aquí una de estas referencias.

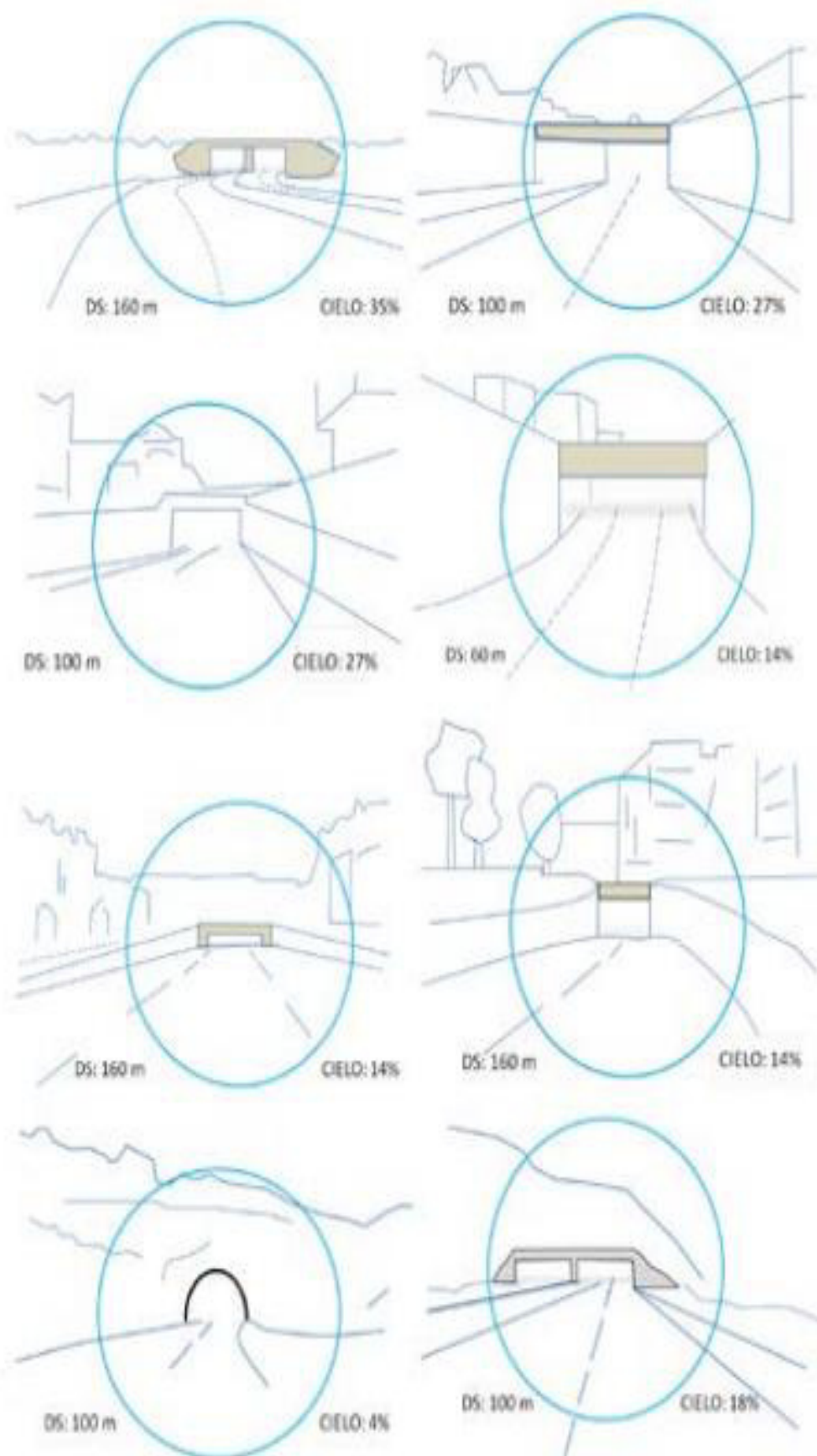


Figura 3.11. Diferentes accesos a túneles y pasos.

3.4.3. Método de aproximación

Es el método a aplicar cuando se reconoce que no existen datos más finos sobre la boca del túnel apreciada desde la distancia de seguridad o frenado del vehículo. En ese caso se procede a una estimación según la tabla adjunta donde:

1. Es un efecto función de la orientación de la boca del túnel. Para el hemisferio norte:
 - B: bajo → entrada sur (el tráfico se mueve hacia el norte).
 - A: Alto → entrada norte (el tráfico se mueve hacia el sur).

Para entradas con otras direcciones se interpolarán valores según ángulo de orientación con referencia en los citados. Por ejemplo si se da una orientación NE pura, se puede dividir la media circunferencia Este de la brújula (entre N y S) en cuatro partes, dándole peso 3/4 a la influencia del norte y peso 1/4 a la del sur, de manera que podría calcularse (situación normal, con el 35% de cielo):

$$O_{NE} = \left(\frac{3}{4}\right) \cdot O_N + \left(\frac{1}{4}\right) \cdot O_S = 0,75 \cdot 6 + 0,25 \cdot 4 = 5,5$$

Donde O es el efecto de orientación y sus subíndices son indicativos de la dirección.

2. Efecto que se produce en función del brillo procedente del entorno:
 - B: bajo → reflectancia del entorno baja.
 - A: alta → reflectancia del entorno alta.
3. Mismas consideraciones que en la categoría (1), a la inversa.
4. Para distancias de seguridad cortas no resulta aplicable el valor en condiciones de cielo porcentaje de cielo del 35%. La poca altura del campo de visión cónico y su ángulo de amplitud (veinte grados) son las condiciones geométricas que limitan esta variable.

Tabla 3.8. % cielo en campos de visión.

Tipo de vía	% cielo en campos de visión (cónico 20o)															
	35%				25%				10%				0%			
	Normal		Nieve		Normal		Nieve		Normal		Nieve		Normal		Nieve	
	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A
Situación de brillo en el campo de visión	(1)		(1)		(1)		(1)		(2)		(3)		(2)		(3)	
Distancia de seguridad de 60 m.	(4)		(4)		4	5	4	5	3	4	3	4	2	3	2	4
Distancia de seguridad de 100 a 160 m.	4	6	4	6	4	6	4	6	3	5	3	5	3	5	3	5

3.4.4. Niveles de iluminación en la zona umbral

En una definición extendida el término L_m se entiende como la luminancia media en servicio de la superficie de la calzada con mantenimiento de la instalación. Su valor de diseño es función directa de la luminancia de la zona de acceso, previa a la boca física del túnel, relación que se recoge en la expresión:

$$L_{th} = k \cdot 10^3 \cdot L_{20}$$

Lógicamente la luminancia en la zona umbral debe ser superior (la luz diurna contribuye en menor medida que en la zona de acceso) a la de acceso, lo que limita los valores de k por encima de 1. En la práctica el coeficiente presenta valores entre 10×10^3 y 100×10^3 , de manera que como mínimo la luminancia en la zona umbral será al menos diez mil veces superior a la considerada para la zona de acceso. El coeficiente k es función de tres variables: el sistema de iluminación empleado en la zona considerada (simétrico o a contraflujo), las exigencias de iluminación del túnel (clase) y la distancia de seguridad en cada caso.

Tabla 3.9. k para contraflujo y simétrico.

k						
Sistema de alumbrado	Contraflujo			Simétrico		
	Distancia de seguridad (m)			Distancia de seguridad (m)		
	60	100	160	60	100	160
Clase						
1	10	15	30	15	20	35
2	15	20	40	20	25	40
3	20	30	45	25	35	45
4	25	35	50	30	40	50
5	30	40	55	35	50	65
6	35	45	60	40	55	80
7	40	50	70	50	60	100

En la aplicación de la tabla anterior debe considerarse que:

- Para distancias de seguridad o de parada (DS) comprendidas entre las señaladas (60-100 y 160 m), los valores del factor (k) se obtienen por interpolación lineal entre las cifras establecidas en la tabla.
- Los valores del factor (k) para el sistema de alumbrado a contraflujo se han determinado para garantizar, en la mayor parte de las circunstancias, un grado de seguridad y comodidad al menos comparable al logrado con el sistema de alumbrado simétrico.
- Las distancias de seguridad o parada de 60, 100 y 160 m equivalen respectivamente a velocidades de diseño del túnel de 60, 80 y 100 km/h.

3.4.5. Evolución de L_{th} en la longitud de la zona umbral

La zona umbral nunca se diseña con una longitud menor que la de frenado o seguridad, ese es el límite inferior de su valor y suele ser el valor de diseño más aplicado. Una vez establecida la longitud umbral de túnel, ya fuera coincidente con la de seguridad o algo mayor, según el criterio del diseñador, ésta se divide

en dos mitades. En la primera mitad según el sentido de la circulación se mantiene el valor calculado para L_{u_1} , porque esta zona se considera en espacio crítico del umbral; en la otra mitad se puede proceder a una disminución paulatina del valor máximo hasta que éste quede reducido en un 60%, es decir, en el último plano (perpendicular a la calzada y a la dirección del tráfico) que atraviesa el vehículo en la zona umbral y antes de comenzar la zona de transición, debe mantenerse una luminancia residual del cuarenta por 40% de la empleada para iluminar la primera mitad del túnel.

Debe quedar garantizado el carácter gradual del gradiente negativo de luminancia en la segunda mitad de la zona umbral, para lo que se acude a la recomendación de que no se reduzca, en esa graduación escalonada, más de un tercio de la luminancia de un paso al siguiente.

Las paredes se zonifican longitudinalmente. En sus primeros dos metros mantendrán la misma luminancia que la zona umbral con la que se corresponde.

3.4.6. Luminancia en la zona de transición

La zona de transición queda determinada entre el fin de la zona umbral y el comienzo de la interior del túnel. La luminancia de esta zona juega el papel de adaptación entre la de origen (umbral) y la de destino (interior). La velocidad es el parámetro de diseño fundamental porque con ella varían las distancias recorridas en el mismo periodo y eso marca el tiempo de adaptación del conductor a la nueva iluminación.

La tendencia luminica a la baja desde la segunda mitad de la zona umbral se mantiene en este tramo de transición (Fig. 3.12), sin embargo la derivada negativa no se mantiene en los mismos valores, sino que se va corrigiendo hacia una tendencia de decrecimiento menor. Las luminancias mínimas en la zona de transición son las que se muestran en la ilustración adjunta, que se ha confeccionado bajo parámetro técnicamente y depurado con datos empíricos reales derivados de registros de la adaptación del ojo humano de una alta luminancia a niveles bajos de ésta.

La función matemática que se aproxima con mayor precisión y que permite un manejo adecuado y sencillo es:

$$L_x = L_{in} \cdot (1,9 + t)^{-1,428}$$

donde, t es el tiempo (segundos).

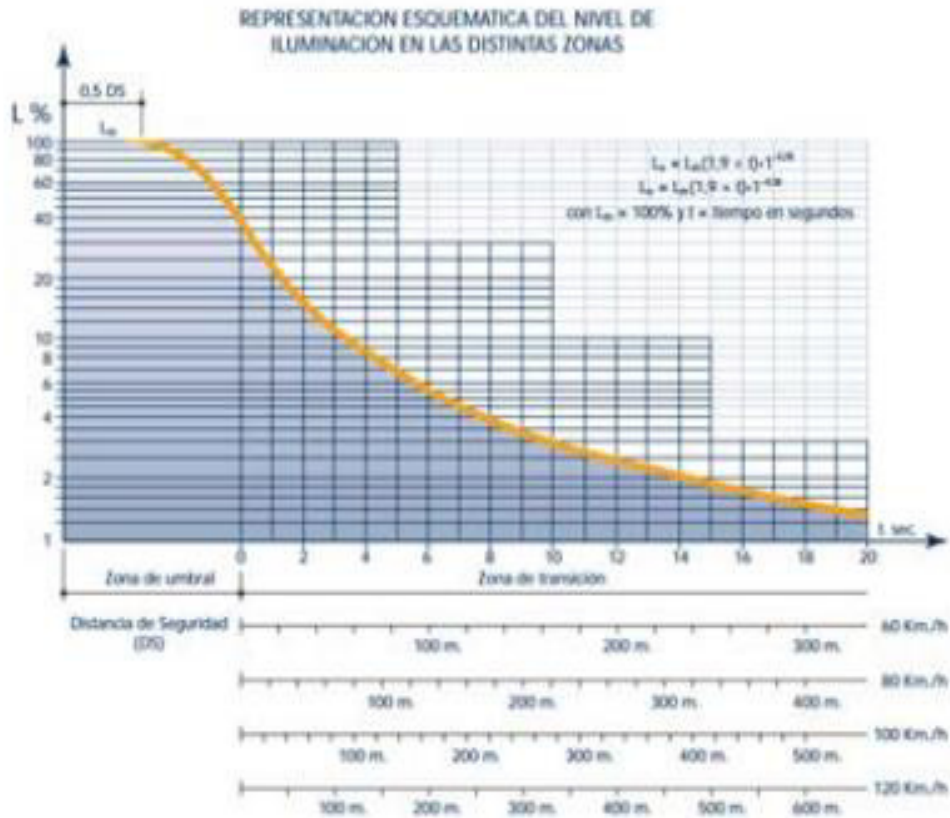


Figura 3.12. Nivel de iluminación en las distintas zonas. Fuente: Luminotecnia.

Aunque la tendencia en su disminución (en los valores mínimos) debe es a estabilizarse, el máximo descenso gradual permitido técnicamente se cifra en escalones contiguos de un tercio, como en la segunda mitad del tramo anterior. Se limita la luminancia de salida de la zona de transición al triple de la que se dispondrá en la zona interior del túnel.

Las paredes, entendidas éstas hasta una altura de dos metros del suelo, mantendrán los mismos niveles de luminancia que la calzada con la que comparten tramo, como mínimo.

3.4.7. Iluminación de la zona de interior

Las dimensiones longitudinales son las que corresponden a la distancia entre la zona de transición y la de salida. Se trata de lo que podría llamarse túnel per se, el cuerpo central del túnel.

Desde el punto de vista de la fisiología del órgano visual humano, la zona interior del túnel es aquella en la que el ojo ya se ha adaptado a la nueva circunstancia lumínica, por lo que en este tramo la luminancia se mantiene constante hasta la zona de salida. Las paredes reciben la misma consideración que en los casos anteriores: en sus dos primeros metros de altura mantendrán la misma luminancia que la calzada con la que se corresponde en cada sub-tramo de análisis.

Las luminancias de referencia, en candelas por metro cuadrado, estimadas para la zona interior del túnel se exponen en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Luminancia de la zona interior.

Luminancias L_{ref} (cd/m ²)			
Clase del túnel	Distancia de seguridad (m)		
	60	100	160
1	0,5	2	3
2	1	2	4
3	2	3	5
4	2	3	6
5	2	4	6
6	3	5	8
7	3	6	10

Sabido que se trata del tramo del túnel con una iluminación más baja, denominada luminancia base del túnel, se establecen los requerimientos mínimos que ha de cumplir el sistema de iluminación en el tramo interior:

- Visibilidad de cualquier obstáculo eventual sobre la calzada a una distancia como mínimo igual a la distancia de seguridad, teniendo en cuenta la opacidad de la atmósfera del túnel debido a los gases de escape de los vehículos.

- Guiado sin ambigüedades.
- Buena calidad del ambiente luminoso (efecto psicológico importante sobre todo en los túneles muy largos).

Ningún tramo, zona o sub-tramo del túnel mantendrá unos niveles de luminancia media por debajo de los obtenidos en el cálculo de L_{int} .

3.4.8. Iluminación de la zona de salida

En esta zona se pasa de la menor de las luminancias del túnel (tramo interior) a un tramo con elevada penetración de la luz diurna. Vuelven a tener importancia los fenómenos de adaptación del ojo del conductor.

El límite inferior de la zona de salida es el final del tramo interior y su límite final es la boca de salida del túnel. El nivel de luminancia en esta zona (L_{sal}) se diseña con el fin de iluminar directamente los vehículos y hacia ellos se orienta. La experiencia y los estudios ópticos indican que, a la salida del túnel, los vehículos ligeros quedan ocultos entre los más pesados o voluminosos. El hecho de iluminar directamente sobre los elementos móviles del tráfico responde a la necesidad de reducir al máximo este fenómeno provocado por la acción sinérgica de la escasa luminancia del interior del túnel y el deslumbramiento de la luz diurna que ya penetra.

Los niveles de referencia permiten, además, la correcta visión de los conductores en el sentido contrario al de circulación, esto es, por el uso de retrovisores, efecto especialmente importante cuando se teme por la distancia de seguridad, tanto cuando ésta debe aumentarse (calzada mojada, por ejemplo en túneles con filtraciones) o altas intensidades de tráfico.

Fisiológicamente la adaptación a mejor iluminación, como la que se da de la luminancia interior (L_{int}) a la luminancia de salida (L_{sal}), es notablemente más rápida y ágil que al contrario. Se confirma que la acomodación del ojo en este caso no es una variable de importancia.

Por lo general, en túneles de las clases 1 a 5 (incluidas) no se requiere multiplicación alguna de la luminancia del interior al pasar a la zona de salida, precisamente por la buena predisposición del ojo humano a volver a percibir luz diurna; sin embargo, deben considerarse las medidas de aumento gradual de la iluminación en la zona de salida en túneles de esta clase cuando aparezcan posibles

fenómenos extraordinarios de deslumbramiento, molestias ópticas, etc., derivadas, por ejemplo, del mal diseño de la boca del túnel o su incorrecta orientación solar. En estos casos el técnico deberá ser capaz de variar fundamentadamente la clase del túnel hasta la que corresponda a una aplicación múltiple de luminancia, por ejemplo elevándolo hasta las clases 6 ó 7 para tratarlos como se indica a continuación.

Las generalidades expuestas sobre la luminancia L_{ext} no son suficientes cuando se trata de cubrir las necesidades de las clases 6 y 7 unidireccionales, casos en los que la luminancia del final de la zona interior debe aumentarse gradualmente hasta los 20 primeros metros en los que se debe multiplicar por 5 la luminancia de entrada en el tramo. Teniendo en cuenta que la distancia de seguridad marca el mínimo de longitud del tramo y lo descrito, se puede escribir:

$$L_{ex(20)} = 5.L_{int}$$

En una longitud, como mínimo, igual a la de frenado, el incremento positivo escalonado de la luminancia no debe superar la relación de 3 a 1.

3.4.9. Uniformidad en la luminancia sobre la calzada

La homogeneidad en la iluminación de la vía, específicamente en la medida de sus luminancias medias, otorga el valor de correcta guía visual significando un buen sistema de marcar el camino. En cualquier caso el conductor debe percibir información válida sobre el camino no solo mirando a la calzada, que pueden estar ocultas por el propio tráfico, sino también a las paredes. Por los ángulos del campo de visión lateral medios de la mayoría de los modelos de vehículos que circulan por las carreteras enterradas, la altura crítica de la pared como guía visual de la dirección longitudinal del túnel se ha venido considerando alrededor de los 2 metros. Este valor funciona aceptablemente bien como parámetro de diseño, si bien en vías con tráfico tipo diferente del general puede aumentarse (mayoría de vehículos pesados —camiones, autobuses, etc.— y otros).

Los valores mínimos en servicio de luminancia con mantenimiento de la instalación de la uniformidad global (U_g) y longitudinal (U_l) en calzadas, en toda su superficie, tanto anchura como longitud de todos los tramos y zonas del túnel, se recojen en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11. Uniformidad de la luminancia en la calzada.

Clase de alumbrado	Uniformidades	
	Global U_g	Longitudinal U_l
1, 2 y 3	0,3	0,5
4, 5, 6 y 7	0,4	0,6

3.4.10. Limitación del deslumbramiento

El deslumbramiento disminuye la capacidad de percepción de objetos temporalmente en el conductor o usuario de la vía, por lo que debe reducirse en lo posible en la fase de diseño del túnel. Sus efectos pueden reducirse también con el sistema de iluminación, como ya se ha apuntado, por ejemplo en el caso del tramo de salida.

El deslumbramiento se analiza y divide en dos partes, una de ellas resulta la limitante a la hora de percibir con claridad la presencia de un objeto: se define como deslumbramiento perturbador. Éste limita con el resto del deslumbramiento en el denominado incremento umbral de contraste (TI), superado el cual los objetos no son perceptibles por el conductor del vehículo. Se relaciona matemáticamente como sigue:

$$TI = 65 \cdot \frac{L_v}{L_m^{0,8}} \quad \text{expresado en \% para } 0 < L < 5 \quad \left[\frac{cd}{m^2} \right]$$

$$TI = 95 \cdot \frac{L_v}{L_m^{1,05}} \quad \text{expresado en \% para } L > 5 \quad \left[\frac{cd}{m^2} \right]$$

Donde, TI es el incremento de umbral correspondiente al deslumbramiento perturbador; L_v , Luminancia de velo total (cd/m^2); y L_m , la luminancia media de la calzada (cd/m^2).

El incremento de umbral (TI) debe ser menor del 15% para las zonas de umbral, de transición y zona interior durante el día, y para todas las zonas durante la

noche. Para la zona de salida durante el día no existe limitación en el deslumbramiento perturbador.

3.4.11. Control del efecto *Flicker*

El efecto *Flicker* se produce por la variación periódica de luminancias en el campo de visión, es común tanto por variación de la luminancia en el tiempo para objetos estacionarios, como para campos de visión que varían por movimiento del objeto, como es el caso de los vehículos.

La reducción del efecto está relacionada con el espacio recorrido por el vehículo, esto es, por el ritmo con que varía su campo de visión. A mayores velocidades se recorre más distancia en el mismo o menos tiempo. La disposición relativa, en el espacio, de las luminarias es clave para reducir a términos no molestos o inapreciables el efecto *Flicker*. A tal efecto en el diseño de la iluminación del túnel se dedica el esfuerzo al cálculo de la separación de los puntos de luz.

La sensación de parpadeo que percibe el conductor del vehículo depende de los siguientes factores:

- La velocidad con la que se pasa de tonos claros a oscuros en un mismo ciclo. Depende de la distancia entre luminarias y la velocidad de diseño.
- El número de cambios de luminancia por ciclo, que es la intensidad del efecto por sí misma. Depende de la distancia entre luminarias y de la velocidad de diseño de la vía.
- El tiempo en el que se prolonga el efecto. Función de la velocidad de diseño de la vía y de la separación de las luminarias.
- La relación pico-luz a valle-oscuridad dentro de cada periodo. Función de las características fotométricas, de la velocidad del vehículo y de la separación entre luminarias.

El cálculo del efecto *Flicker* se reduce al simple cociente entre la velocidad y la separación entre luminarias, lo que recoge las tres primeras variables de estudio en su totalidad y buena parte de la cuarta. Téngase en cuenta que para un cálculo eficaz deben coincidir las unidades de longitud empleadas en la velocidad y la distancia entre luminarias.

Los valores críticos del parpadeo son 2,5 Hz y 15 Hz. En esa horquilla de valores el efecto es notable y debe combatirse hasta alcanzar valores bien por debajo, bien por encima, lo que provoca una nula afección del parpadeo al conductor.

3.4.12. Alumbrado nocturno

En una situación de circulación del vehículo por una vía a cielo abierto que presenta un sistema de iluminación artificial, la luminancia a la entrada del túnel deberá ser como mínimo igual a la de la vía de acceso al mismo. La recomendación es superar ese límite inferior en un 50 ó un 100%, es decir, se multiplica por 1,5 o se dobla.

En cuestión de uniformidades no hay cambios en las recomendaciones con respecto a la iluminación en las horas de luz solar, aplicándose los valores expuestos para U_0 y U_1 .

Las condiciones descritas serán de aplicación igualmente en túneles de 100 metros de longitud sin iluminación diurna.

Si el túnel está situado en un trazado de carretera no iluminado se cumplirán las recomendaciones anteriores y se añadirá a aquellas la iluminación del tramo se vía situado inmediatamente a la salida del túnel se iluminará en una distancia que doble la de frenado o en los primeros 200 metros (parámetros mínimos ambos), escogiendo la opción de mayor requerimiento. La luminancia media de la calzada en ese tramo superará en un tercio a la de diseño para la zona de salida.

Los valores mínimos de luminancias en servicio con mantenimiento de la instalación en la calzada se exponen en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12. Luminancias del alumbrado nocturno.

Luminancias del alumbrado nocturno	
Clase de alumbrado	Luminancia media (cd/m ²)
1,2	0,5
3,4,5,6 y 7	1

En el caso particular de los túneles o zonas de los mismos donde se instale un sistema de vigilancia de tráfico por cámaras de televisión el nivel nocturno mínimo no bajará de 1 cd/m^2 . Caso de otras instalaciones especiales como pantallas para luz diurna en la entrada del túnel o en su salida, paralúmenes, etcétera, el alumbrado nocturno en los tramos afectados igualará al de diseño para el interior del túnel.

3.5. Iluminación de túneles cortos y pasos inferiores

En la propia naturaleza de los túneles cortos se incluye la penetración de la luz diurna tanto a la entrada como a la salida, hasta el punto de que no habrá espacio para la adaptación en la supuesta zona de transición antes de afrontar la salida. Es común que en el túnel corto el conductor tenga dentro de su campo visual, a la vez, la boca de entrada y la de salida.

Se establece en los 25 metros de longitud el límite a partir del cual no requiere estudio alguno la iluminación del paso o túnel por no ser necesaria en ningún caso sistema de iluminación diurna.

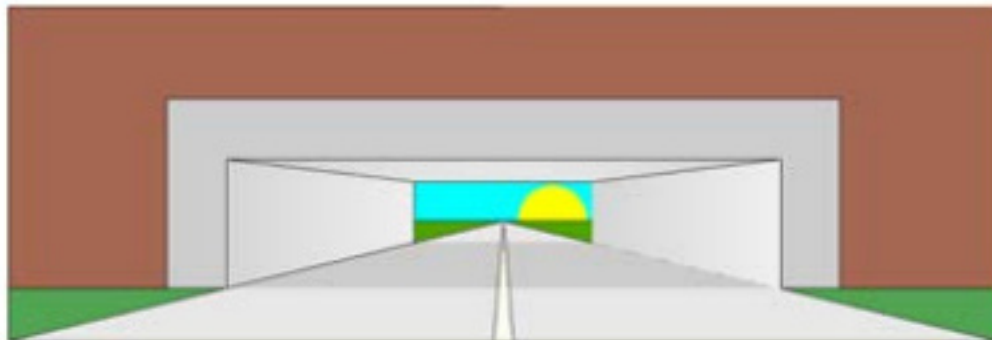


Figura 3.13. Paso/ túnel corto.

Aunque se evidencia la necesidad de disponer de alumbrado nocturno en el túnel, se presenta el caso de tener que decidir sobre diseñar o no un sistema de iluminación diurna. Si por fin se instala tal sistema se atenderá a los mismos parámetros que en los túneles largos.

La toma de tal decisión depende de la evaluación de la capacidad de los conductores de percibir con claridad los objetos que pueden estar presentes en

la vía, tanto en dirección longitudinal como transversal, ya sean vehículos a motor como elementos viales más frágiles como peatones, ciclistas, etcétera. La referencia visual es el campo formado a la distancia de frenado o de seguridad (DS).

Otro parámetro de diseño es la posible visualización de la salida del túnel desde la distancia de seguridad a la boca de entrada, que depende de: la longitud del túnel y las variaciones de dirección en su interior, ya fueran en el mismo plano (curvas dentro de su trazado) o con variación de planos (cambios de pendiente, rasante, etc.).

El contraste entre el llamado marco o fondo del túnel y la visualización de las dos bocas y la luz a su través han de ser también considerados. En la Fig. 3.13 se ha ilustrado el texto con un ejemplo sencillo de un túnel corto con fondo oscuro y correcta visualización del paisaje de fondo a la boca de salida, desde la distancia de seguridad.

Cuando la longitud del túnel se encuentra en el límite de posible instalación de un sistema de iluminación diurno, algo por encima de los 25 metros citados, se recurre a otros parámetros complementarios tales como los tonos oscuros que adoptan las paredes y techo del túnel, así como su fondo. En determinadas circunstancias los vehículos, peatones y obstáculos situados dentro de ese campo visual pueden quedar ocultos por las características ópticas del conjunto, caso en el que resulta ineludible la iluminación diurna.

La decisión sobre si instalar o no alumbrado diurno en un túnel con clasificado como corto puede apoyarse en cálculos propios del proyecto o en la experiencia estadística general que se recoge en los llamados cuadros-guía o diagramas guía.

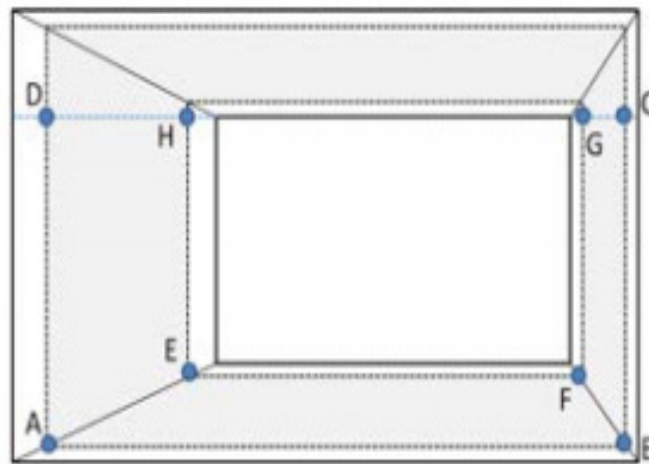
3.5.1. Cálculos en el proyecto

Para completar los cálculos que ayuden a la toma de decisiones sobre la instalación de un sistema de iluminación diurno se recomienda:

- Determinar el porcentaje de visión a través del túnel (LTP).
- Estudiar su aplicación.
- Estudiar su influencia.
- Determinar el método más apropiado que se ajusta al caso.

3.5.2. Determinación del porcentaje de visión a través (LTP)

Se realiza un dibujo (croquis, esquema, etc., en función de la finura del trabajo técnico) de la situación como el que se muestra en la Fig. 3.14, sobre la que se compone la expresión matemática adjunta:



$$LTP = \frac{S_{EFGH}}{S_{ABCD}} \cdot 100$$

Figura 3.14. Determinación de LTP.

La figura en perspectiva se ha trazado contando con las siguientes pautas para determinar su centro geométrico:

- Se encuentra en un punto en una línea horizontal 1,2 m por encima de la superficie de la calzada.
- En el centro del carril de circulación (si hay más de un carril, se ha de determinar para cada carril, aunque los más próximos a las paredes son los que tendrán la situación más crítica).
- Se sitúa a la distancia de parada (calculada para pavimento húmedo) para el portal de entrada aparente influido por la luz natural.

El techo no es tenido en cuenta debido a que normalmente no es un fondo contra el que puedan ocultarse otros usuarios de la carretera u obstáculos.

La penetración de luz natural acorta la longitud visual aparente del túnel. Por ello se usan unas bocas de entrada y salida aparentes cuando se determina LTP. La boca de entrada aparente normalmente está insertada aproximadamente 5 m y la boca de salida aparente está insertada aproximadamente 10 m dentro del túnel. La diferencia entre bocas reales y aparentes puede comprobarse viendo la superficie de la calzada en el túnel desde una larga distancia por delante del túnel, cuando se verá que la claridad de la superficie de la calzada en las bocas es mayor que dentro del túnel. Sin embargo, en la práctica es difícil estimar o medir las distancias de inserción, y las figuras a 5 m y 10 m representan la buena práctica y deberían usarse normalmente.

Las curvaturas en cualquiera de los planos (vertical u horizontal) pueden suponer una dificultad importante a la hora de realizar el dibujo propuesto. En estos casos se da una exactitud suficiente cuando el marco oscuro está basado en dibujos en sección transversal en los planos horizontal y vertical.

Resultan expresiones equivalentes (entre ellas y con la ya vista), por lógica física:

$$LTP = \frac{EF.FG}{AB.BC} . 100$$

$$LTP = \frac{\beta_u}{\beta_i} \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_i} . 100$$

donde, β_u , β_i , α_u , α_i , son los ángulos que se deducen del planteamiento gráfico de la Fig. 3.15. Los ángulos con subíndice "u" son los definidos para la parte visual de la boca de salida aparente y los de subíndice "i" los referidos a la boca de entrada.

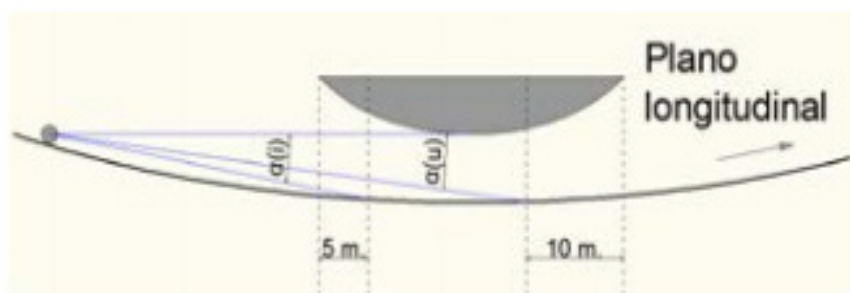


Figura 3.15. Plano longitudinal y plano vertical.

$$LTP_V = a_u \cdot f \cdot a_i$$

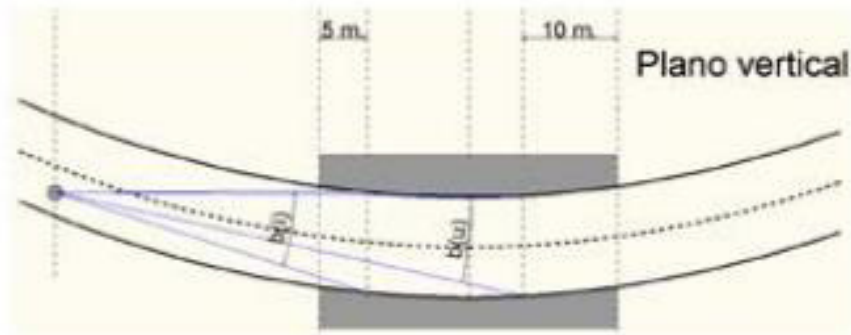


Figura 3.15. Plano longitudinal y plano vertical. (Continuación).

3.5.3. Aplicación del LTP

A partir del gráfico anterior, se aplica el porcentaje de visión a través. Según la experiencia acumulada hasta el momento:

- Para $LTP < 20\%$, siempre se necesita alumbrado artificial durante el día.
- Para $LTP > 50\%$, nunca se necesita alumbrado artificial durante el día.
- Para $20\% < LTP < 50\%$ puede ser necesario alumbrado artificial durante el día.

En este último caso, en el que la LTP toma valores intermedios, debe analizarse la visibilidad de un objeto crítico importante en función de la composición del tráfico: vehículos, ciclistas, peatones, etcétera. Se siguen las siguientes recomendaciones:

- Para vehículos, el objeto crítico es definido como un rectángulo de 1,6 m de anchura x 1,4 m de altura. Para peatones/ciclistas el objeto crítico es definido como un rectángulo de 0,5 m de anchura por 1,8 m de altura.
- El objetivo principal es evitar una colisión y por ello el objeto crítico debe situarse en el centro del carril de circulación.

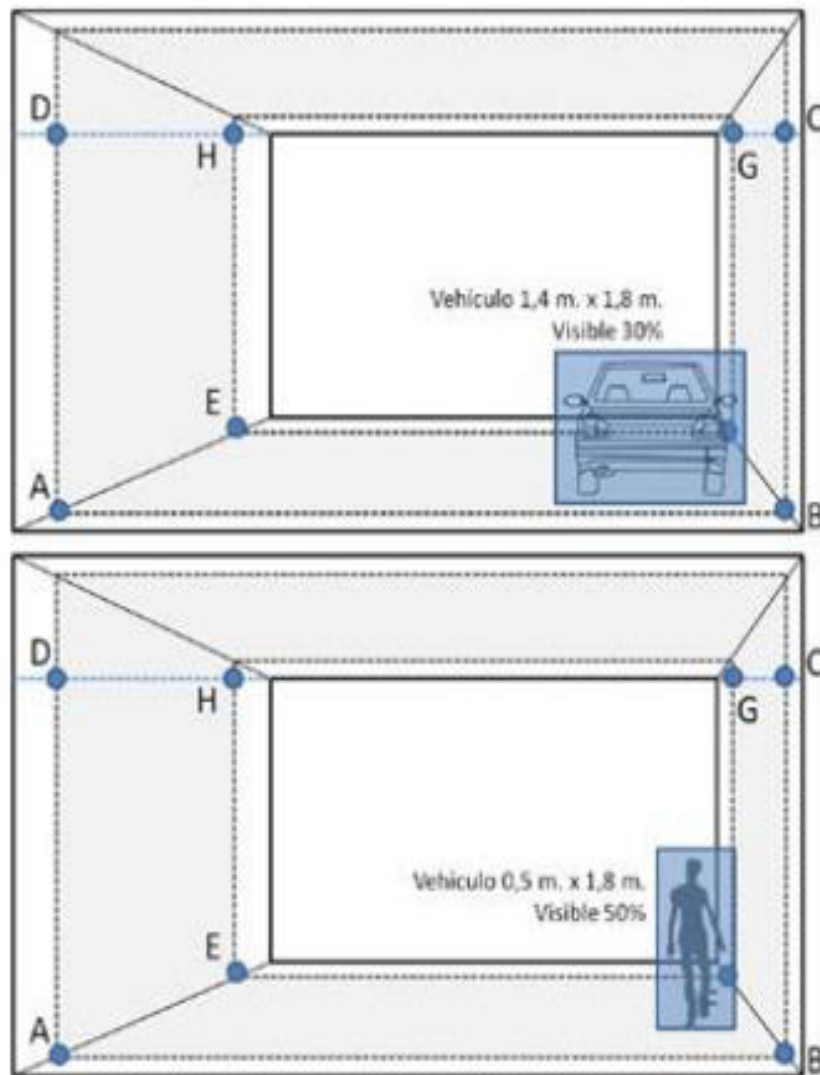


Figura 3.16. Aplicación de LTP.

Es requerido alumbrado artificial cuando se describen las circunstancias siguientes:

- No puede verse más de un 30% del objeto crítico que representa un vehículo contra la boca de salida aparente.
- No puede verse más de un 50% del objeto crítico que representa un peatón/ciclista contra la boca de salida aparente.

3.5.4. Influencia del LTP

Las medidas estructurales participan pasivamente en la longitud aparente del túnel. Las que favorecen la penetración de la luz diurna en el túnel los acortarán sensiblemente, dado que el concepto es dinámico y función de la iluminación disponible. Las recomendaciones que, al respecto, se encuentran en la serie normativa sectorial publicada por el Gobierno de España en 2015 son:

- Aumentar la altura o anchura de la entrada/salida.
- Aplicar cubiertas especulares (azulejos) en las paredes del túnel.
- Romper el túnel en partes más cortas dejando abierto el techo cuando sea posible.

Cualquiera que sea el método empleado, con o sin cálculo, las variables de mayor afección sobre la decisión son:

- La distancia de seguridad, calculada para pavimento húmedo.
- La longitud del túnel.

Nótese que no se han incluido las dimensiones de apertura del túnel. Aunque son importantes para determinar la penetración de la luz natural, no son las variables fundamentales.

3.6. Diagramas guía para túneles cortos

Para la aplicación de la guía que se sirve como apoyo a la toma de decisiones sobre el tipo de alumbrado nocturno a instalar en este tipo de pasos y túneles, así como coadyuvante en la toma de decisiones sobre la necesidad de diseño de un sistema de iluminación diurno, se clasifican estos tramos de vía enterrada en cuatro categorías:

- Tipo A. Túneles situados en entornos urbanos o periurbanos en vías de tráfico (excluidas autopistas y autovías), frecuentemente dotadas de alumbrado público y cuya velocidad de circulación está limitada entre 40 y 60 km/h.

- Tipo B. Túneles interurbanos bidireccionales, considerando un volumen de tráfico denso cuando la intensidad media diaria de los vehículos que circulan es superior a 5.000 (IMD > 5.000).
- Tipo C. Túneles interurbanos unidireccionales (autopistas y autovías), estimando un volumen de tráfico denso cuando la intensidad media diaria de los vehículos que circulan es superior a 10.000 (IMD > 10.000).
- Tipo D. Túneles interurbanos con tráfico de baja velocidad (límite de velocidad considerablemente menor de 80 km/h.), y un volumen de tráfico notablemente inferior a una intensidad media diaria de 5.000 vehículos (IMD < 5.000).

Se elaboran cuadros para la estimación referida en los que se alude a las siguientes variables:

- Longitud (m): se establecen para cada diagrama guía cuatro órdenes de longitudes de túneles cortos o pasos inferiores, expresadas en metros.
- ¿Salida visible?: en cada diagrama guía se considera, cuando el conductor del vehículo que se acerca al túnel y se encuentra, como mínimo, a una distancia igual a la de seguridad (DS) antes de la entrada del mismo, si es o no visible la salida del túnel o paso inferior.
- Velocidad \leq 80 km/h: en los diagramas guía 2 y 3, correspondientes a los túneles tipo B y C, se contempla si la velocidad de diseño del túnel o paso inferior es mayor o menor que 80 km/h. La velocidad de diseño es muy importante en relación a la distancia de seguridad (DS), así como respecto al riesgo de accidentes y a la gravedad de los mismos.
- Volumen de tráfico: Se tiene en cuenta en los cuadros guía para los tipos B y C el volumen de tráfico, que puede clasificarse en ligero y denso.

Las consideraciones básicas para la aplicación de los diagramas o cuadros-guía mostrados son:

- La configuración real del túnel en sus elementos: carretera, paredes y techo, bocas, etc., tanto a la entrada como a la salida y su interior.
- La cantidad y calidad del tráfico.
- La disponibilidad de un análisis de seguridad vial (accidentes) relacionada con la iluminación.

- La disponibilidad de un estudio de la señalización de seguridad a la entrada del túnel, especialmente en las relativas a la seguridad (DS, obligatoriedad del uso del alumbrado del vehículo, etcétera).
- La existencia de un control efectivo y eficaz sobre los costes de instalación y explotación anual del alumbrado, incluyendo el funcionamiento, mantenimiento y trabajos de reparación relativos a la seguridad y el confort.
- La relación de balance económico de la instalación y su diseño, es decir, el beneficio en relación a los costes generales (instalación, mantenimiento, diseño, gestión, etcétera).

Cuadro guía para túneles-pasos tipo A

Tabla 3.13. Túneles-pasos tipo A.

Túneles-pasos tipo A						
Longitud (m)	< 25	25 a 75		75 a 125		> 125
¿Salida visible?	-	SI	NO	SI	NO	-
Alumbrado	No se requiere		Diurno limitado		Igual al túnel largo	

Cuadro guía para túneles-pasos tipo B

Tabla 3.14. Tipo B.

Túneles-pasos tipo B									
Longitud (m)	0-80		81-120				121-150		> 150
¿Salida visible?	-		SI		NO		SI	NO	-
Velocidad (30 km/h)	-		SI	NO	SI	NO	-		-
Volumen de tráfico	-		-	Ligero	Denso	-	Ligero	Denso	-
Alumbrado	No se requiere		Alumbrado diurno limitado			Alumbrado diurno completo		Igual al túnel largo	

Cuadro guía para túneles-pasos tipo C

Tabla 3.15. Tipo D.

Túneles-pasos tipo C									
Longitud (m)	0-100		101-150				151-200		> 200
¿Salida visible?	-		SI		NO		SI	NO	-
Velocidad (30 km/h)	-		SI	NO	SI	NO	-		-
Volumen de tráfico	-		-	Ligero	Denso	-	Ligero	Denso	-
Alumbrado	No se requiere		Alumbrado diurno limitado			Alumbrado diurno completo		Igual al túnel largo	

Cuadro guía para túneles-pasos tipo D

Tabla 3.16. Luminancias del alumbrado nocturno.

Túneles-pasos tipo D						
Longitud [m]	0-100	101-150		151-200		>200
¿salida visible?	-	SI	NO	SI	NO	-
Alumbrado	No se requiere		Diurno limitado		Alumbrado diurno completo	Igual al túnel largo

3.6.1. Consideraciones para el diseño

Teniendo en cuenta que en los túneles tipo B el volumen de tráfico es denso cuando IMD > 5.000 y en los túneles tipo C el volumen de tráfico es denso cuando IMD > 10.000, se puede construir el siguiente cuadro comparativo, derivado de los anteriores:

Tabla 3.17. Comparativa túneles cortos.

Comparativa túneles cortos				
Tipo de túnel	A	B	C	D
Longitud	< 25	< 80	< 100	< 100
	25-75	80-120	100-150	100-150
	75-125	120-150	150-200	150-200
	>125	>150	>200	>200
¿Salida visible?	SI	SI	SI	SI
	NO	NO	NO	NO
Velocidad < 80 km/h		SI	SI	
		NO	NO	
Volumen de tráfico		Ligero	Ligero	
		Denso	Denso	

Los tramos de menor longitud que se encuentran en los trazados habituales se corresponden con los pasos inferiores de vía bajo ferrocarril o carretera, cuya longitud se encuentra por debajo de los 25 metros, por lo que no suele requerir alumbrado diurno.

Resulta conveniente emplear recursos de diseño en la infraestructura que faciliten o garanticen la máxima penetración de la luz diurna en el túnel. Es recomendable:

- Construir la boca del túnel más elevada.
- Revestimiento de color blanco (recubrimiento especular) en las paredes del túnel.
- Instalar claraboyas en el techo del túnel.

La iluminación de la vía a cielo abierto que da acceso y salida al túnel puede contribuir, si se considera esta particularidad en el diseño, a la penetración de esa luz artificial en el túnel corto o paso.

Un elemento fundamental es el control de la reflectancia de las paredes del túnel, ésta potencia considerablemente el brillo del fondo sobre el contorno de los objetos que pudieran estar presentes, de modo que resultan más visibles. Este efecto se convierte en un recurso esencial cuando la salida desde la distancia de seguridad (contada desde la boca de acceso), aprovechando que con valores adecuados de reflectancia las paredes pueden derivar los haces de luz que entran por la salida hacia el campo visual del conductor. El punto crítico de reflectancia de las paredes se establece en el 40%, por debajo de éste la reflectancia se considera "baja" y por encima "alta"; la categoría baja no contribuye al efecto deseado. Para la aplicación de este criterio deben cumplirse los factores de mantenimiento y depreciación. En caso de reflectancia baja todas las categorías de longitud expuestas en los cuadros anteriores se reducirán en un 20%. Cuando la reflectancia es alta las longitudes mostradas pueden aumentarse en esa misma proporción.

$$\text{Reflectancia} < 40\% \Rightarrow \text{BAJA} \Rightarrow I_{\text{BAJA}} = 0,8 I_{\text{CUADRO-GUÍA}}$$

$$\text{Reflectancia} > 40\% \Rightarrow \text{ALTA} \Rightarrow I_{\text{ALTA}} = 1,2 I_{\text{CUADRO-GUÍA}}$$

Cualquier tipo de túnel tendrá sus paredes pintadas de blanco hasta los 2 metros de altura con el mínimo de porosidad (superficie lisa) con alta reflectancia especular. Las superficies de las paredes y posibles bordillos de acera contiguos a las paredes pueden cubrirse con colores que contrasten tanto con la pared como con la calzada, especialmente de oscuro cuando la calzada emite tonos claros. Puede seguirse la misma recomendación en los primeros 0,5 metros de altura de la pared.

Debe considerarse la capacidad de la boca de salida para dejar penetrar la luz exterior del túnel. La orientación solar la de salida, la apertura transversal de la boca de salida (por ejemplo un túnel que alberga cuatro carriles presenta una gran apertura transversal) o los cambios de rasante a menor pendiente o la superficie plana a la salida, determinan casos favorables al respecto.

En carreteras de dos carriles o menos, en las que la boca del túnel se ajusta al límite de éstos, la penetración de la luz exterior resultará escasa, cuestión que se agrava cuando a la salida se encuentra gran cantidad de edificaciones, una incorrecta orientación (norte), pendientes positivas a la salida, etcétera, se da un caso negativo.

Como en cualquier diseño de Ingeniería, ante la decisión de diferentes opciones, se debe escoger la más orientada a la seguridad o la alternativa más conservadora, lo que debe extenderse a los casos en los que el túnel presenta en primer lugar una pendiente y luego una rampa (cambios de plano con diferencias de cotas verticales) o cuando aparecen discontinuidades o singularidades geométricas. La alternativa más conservadora es aplicable también en los casos que el técnico considere más relevantes ante la seguridad, como la presencia de transporte habitual de mercancías peligrosas u otras composiciones del tráfico que pongan en riesgo la seguridad.

3.6.2. Tipología de alumbrado en túneles cortos

Como se deduce de los cuadros-guía que se han expuesto para la toma de decisión sobre el establecimiento de un sistema de iluminación diurno, los casos posibles son:

- Se diseña del mismo modo que un túnel largo.
- Se debe disponer un alumbrado diurno completo.
- Se debe disponer un alumbrado diurno parcial o limitado.
- No se requiere alumbrado diurno en el túnel.

No es preceptivo tratar los casos extremos en los que la falta de requerimiento de sistema de iluminación y la analogía propuesta con los túneles largos, por motivos evidentes.

- **Alumbrado diurno limitado**

La limitación se refiere al tiempo de función del sistema, que no estará en consumo durante todas las horas solares del día. El sistema artificial se maneja como complemento de la luz solar diurna, entrando en servicio únicamente cuando la penetración de la luz natural en el túnel no garantiza la seguridad vial. Suelen entrar en funcionamiento en las primeras y últimas horas solares, así como en días nublados en los que la luminancia no es suficiente para apreciar el contraste de los objetos sobre el fondo.

La luminancia del alumbrado diurno se limita por lo bajo en 15 cd/m^2 o el triple de la luminancia interior del túnel, referido a la media en servicio de la calzada con mantenimiento de la instalación. El límite de diseño se encuentra en la más restrictiva de las dos condiciones (la de mayor luminancia requerida).

$$L_{\text{corto-lim}} = 3 \cdot L_{\text{int}}, \quad \text{mínimo } 15 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$$

En el ocaso solar el sistema se pondrá en marcha cuando la luminancia en la zona de acceso (L_{z}) baje de 150 cd/m^2 , el apagado se realiza media hora antes de la puesta del Sol.

A la salida del Sol se enciende simétricamente (media hora después de la salida del Astro) y se apaga cuando la luminancia de la zona de acceso supere las 150 cd/m^2 .

- **Alumbrado diurno completo**

Se mantiene en funcionamiento de manera complementaria con el alumbrado nocturno (que siempre se requiere), es decir, estará en función durante todas las horas solares diurnas.

La luminancia aplicable al caso es la que se corresponde con la equivalente a la zona umbral de túneles largos, deducida del coeficiente k , una vez aplicada la clase de túnel.

$$L_{\text{diurno-completo}} \sim L_{\text{th}}$$

• Alumbrado de noche

Siempre que la longitud del túnel supere los 25 metros y la carretera de su entorno (aproximación y salida) estén dotadas de sistema de iluminación, se requiere iluminación nocturna en el túnel.

Para la correcta integración del túnel corto en la vía se dispondrá una luminancia limitada inferiormente por la luminancia de la vía de aproximación y superiormente por el doble de ese valor.

$$L_{\text{vía-acceso}} < L_{\text{corto-paso}} \leq 2.L_{\text{vía-acceso}}$$

• Método alternativo o simplificado para determinar la necesidad de alumbrado artificial durante el día

En su publicación de recomendaciones (2015) para la iluminación en túneles, el Ministerio del ramo ofrece una alternativa al método de cálculo del LTP que no consiste en otra cosa que en identificar el caso más similar al del proyecto en las tablas generadas por la experiencia con cálculos de LTP tabulados según casos reales.

En estas tablas se dan dos situaciones:

- Túneles rectos (la carretera que se aproxima no tiene curvatura en el plano horizontal, pero puede tener pendiente).
- Túneles con curvatura horizontal con una carretera que se aproxima con curvas en el plano horizontal.

La distancia de seguridad se calcula siempre para suelo mojado.

Para túneles rectos se recogen los datos en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18. Luminancias del alumbrado nocturno.

DS (calzada húmeda)	Alumbrado artificial durante el día	Carretera de aproximación con pendiente de 0°	Carretera de aproximación con pendiente de 2°	Carretera de aproximación con pendiente de 3°
50 m	SÍ	L > 120 m	L > 100 m	L > 80 m
	POSIBLE	50 m < L < 120 m	50 m < L < 100 m	40 m < L < 80 m
	NO	L < 50 m	L < 50 m	L < 40 m
100 m	SÍ	L < 200 m	L > 150 m	L > 80 m
	POSIBLE	90 m < L < 200 m	60 m < L < 150 m	80 m < L < 50 m
	NO	L > 90 m	L < 60 m	L < 50 m
150 m	SÍ	L > 200 m	L > 150 m	L > 80 m
	POSIBLE	120 m < L < 200 m	70 m < L < 150 m	80 m < L < 50 m
	NO	L < 120 m	L < 70 m	L < 50 m
200 m	SÍ	L > 200 m	L > 150 m	L > 70 m
	POSIBLE	150 m < L < 200 m	70 m < L < 150 m	50 m < L < 70 m
	NO	L < 150 m	L < 70 m	L < 50 m

Los valores de LTP no se han incluido en la tabla, puesto que el interés de quien a ellas acude no es descifrar ese valor, sino concluir la necesidad (o no) del alumbrado diurno en el túnel.

La tabla es importante cuando se aplican las siguientes dimensiones principales y condiciones:

- Un túnel de anchura comprendida entre 9 y 12 m y una altura de túnel entre 4,5 y 6 m.
- La escena detrás del portal de salida está bien iluminada por la luz natural.

Para túneles con curvatura horizontal se propone tomar la decisión según la Tabla 3.19.

Tabla 3.19. Túneles con curvatura horizontal.

D5 (calzada húmeda)	Alumbrado artificial durante el día	Radio de la curva (m)	Longitudes límite (m)	Radio de la curva (m)	Longitudes límite (m)
80 m	SÍ	85	L > 20 m	170	L > 50 m
	POSIBLE				20 m < L < 50 m
	NO		L < 20 m		L < 20 m
100 m	SÍ	250	L > 50 m	800	L > 70 m
	POSIBLE		30 m < L < 50 m		50 m < L < 70 m
	NO		L < 30 m		L < 50 m
150 m	SÍ	450	L > 55 m	900	L > 90 m
	POSIBLE		40 m < L < 55 m		60 m < L < 90 m
	NO		L < 40 m		L < 60 m
200 m	SÍ	750	L > 60 m	1500	L > 100 m
	POSIBLE		50 m < L < 60 m		65 m < L < 100 m
	NO		L < 50 m		L < 65 m

3.7. Alumbrado de emergencia

Como cualquier instalación eléctrica los túneles están sometidos a posibles cortes de suministro, que no deben afectar a la seguridad vial. Se hace necesario un sistema de alumbrado de emergencia que cubra la longitud completa del túnel y garantice una luminancia superior al 10% de la luminancia de diseño de la zona interior (L_{int}) o $0,2 \text{ cd/m}^2$, es decir:

$$L_{\text{corto-emerg}} > 0,1 \cdot L_{\text{int}}, \quad \text{mínimo } 0,2 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$$

En los túneles con clase de mayor exigencia, a partir de la clase 3, se hace necesario un sistema contra incendios que indique las rutas de escape, lo que debe señalizarse en todos y cada uno de los puntos del interior del túnel desde los que entre en el campo visual la salida.

En todo caso la separación máxima entre luminarias será de 50 metros y se dispondrán a 0,5 metros del suelo.

El RD 635/2006, de 26 de mayo, se refiere a dos tipos de alumbrado de emergencia: el de seguridad y el de emergencia *per se*. Según su texto el alumbrado de seguridad se proporcionará de modo que permita una visibilidad mínima para

que los usuarios del túnel puedan evacuarlo en sus vehículos en caso de avería del suministro de energía eléctrica. Por otro lado, la iluminación de emergencia cumplirá las condiciones descritas al comienzo del presente apartado, siempre con un mínimo de $0,2 \text{ cd/m}^2$ y 10 lux , con lo que se entiende que, en valores medios, garantizan la eventual evacuación a pie desde el interior del túnel.

La publicación CIE nº 88/2004 y el informe UNE CR 14380 IN (2003) recomiendan que el nivel de iluminancia media máxima sea de 10 lux y el mínimo de 2 lux . Deberá ir conectado a una fuente de alimentación de energía ininterrumpida y puede ser parte del alumbrado nocturno del túnel. Ambos documentos delegan el alumbrado en caso de escape en caso de incendio a la norma UNE-EN 1838.

En resumen se determina que:

- El alumbrado de seguridad entrará en funcionamiento en caso de fallo eléctrico. Mediante un sistema de alimentación ininterrumpido se consiga un nivel en la superficie de la calzada de 10 lux de iluminancia media y 2 lux de mínima.
- Alumbrado de evacuación, cuya señalización estará a una altura máxima de $1,5$ metros desde la superficie de la calzada y deberá proyectarse de modo que permita guiar a los usuarios del túnel para la evacuación a pie con un mínimo de 10 lux y $0,2 \text{ cd/m}^2$.

3.8. Mantenimiento

Se emplea un factor de mantenimiento relativo a disminuir los efectos de la suciedad en las luminarias, que provoca su depreciación, y la pérdida de flujo luminoso en su lámpara. Uno de los casos críticos está protagonizado por los túneles con gran afluencia de tráfico (especialmente de motores diesel y vehículos pesados) que significa un alto grado de contaminación que llena de partículas paredes y luminarias.

Las recomendaciones normativas fijan el factor de mantenimiento en $0,7$ para la calzada y $0,5$ para las paredes del túnel.

Las luminarias (y sus lámparas) dejan de ser útiles cuando la luminancia media que sirven, mantenimiento incluido, no cumple las exigencias establecidas o las uniformidades (U_n y U_t) no son conformes.

3.9. Encendidos/ apagados

El control de activación y desactivación del sistema de iluminación en el túnel debe ser automático, como los niveles de luminancia de referencia de la zona de transición y umbral son función de la disponible en la vía de acceso, conviene que los automatismos estén referidos a ésta. De este modo se consigue, además, la máxima capacidad de adaptación a las variaciones de la luz diurna en las zonas de aproximación y acceso.

3.10. Alumbrado nocturno en el exterior del túnel

A la salida del túnel se mantendrá iluminada la vía a cielo abierto en una distancia equivalente al doble de la de frenado (2.DS), aunque se puede limitar a un máximo de 200 metros, con una luminancia superior en un tercio a la zona de salida del túnel.

Si se disponen pantallas solares a la entrada y salida del túnel, la referencia de luminancia es el equivalente a la dispuesta en la zona interior del túnel.

3.11. Guiado visual

El guiado visual se basa en una correcta zonificación longitudinal que se presente de la manera más clara posible en el campo visual del conductor. La solución recomendable es disponer el máximo contraste entre las superficies longitudinales contiguas. El guiado ofrece información de primera mano sobre el trazado del túnel, por ejemplo de un cambio de dirección importante a la entrada, y es especialmente importante cuanto más baja es la luminancia en la zona recorrida y más concretamente cuando ésta es la de acceso al túnel¹².

3.11.1. Guiado visual para túneles largos

La señalización horizontal requiere un diseño cuidado en todas las clases de túneles menos la clase 1, es decir, de la 2 a la 7. En las tres clases de mayor exigencia en iluminación (5, 6 y 7) se considera la instalación de dispositivos retro-reflectantes en la superficie de la calzada y las paredes del túnel, una vez considerados los factores de ponderación en función del guiado visual.

3.11.2. Guiado en la zona de entrada para túneles de clase 1

A la entrada del túnel, en los primeros 75 metros de longitud, se instalarán al menos 5 luminarias que deben servir una intensidad luminosa, medida hacia el conductor, que cumpla lo indicado en la Tabla 3.20:

Tabla 3.20. Intensidad luminosa en la zona de entrada. Clase 1.

Intensidades luminosas en la zona de entrada en túneles de clase 1				
Ángulo	$80^\circ < \gamma < 87,5^\circ$		$\gamma = 87,5^\circ$	
INTENSIDAD (cd/m^2)				
Tiempo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Durante el día	300	800	-	400
Durante la noche	8	50	-	25

Las luminarias no se separan más de 25 metros y en tramos con el trazado en curva siempre debe haber al menos 4 luminarias.

3.11.3. Guiado visual en la zona interior para túneles de clase 1

Una vez clasificado el túnel con categoría 1 se recurre a lo expuesto en la Tabla 3.21 adjunta:

Tabla 3.21. Intensidades luminosas en la zona interior. Clase 1

Intensidades luminosas en la zona interior en túneles de clase 1				
Ángulo	$80^\circ < \gamma < 87,5^\circ$		$\gamma = 87,5^\circ$	
INTENSIDAD (cd/m^2)				
Tiempo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Durante el día	8	50	-	25
Durante la noche	8	50	-	25

3.11.4. Guiado visual para túneles cortos sin sistema de alumbrado

En los túneles sin sistema de alumbrado, cortos o pasos inferiores, la percepción visual de objetos y las posibles variaciones de dirección del tramo de vía enterrada son especialmente dependientes de la correcta señalización vertical y horizontal. Los elementos más empleados son:

- Marcas retro-reflectantes en la calzada.
- Sistema de balizamiento retro-reflectante (captafaros, hitos, etc.) en la calzada.
- Marcas y balizamiento retro-reflectantes en las paredes.
- Diodos foto-emisores o emisores de luz.

3.12. Soluciones de Iluminación en Túneles: Tecnología LED

El empleo de la tecnología LED en la iluminación en túneles ha llegado a conseguir ahorros del 80% en el consumo. Se trata de una de las aplicaciones de la denominada iluminación inteligente (*Smart Lighting*) junto con sus automatismos asociados.

El servicio en túneles (por su disposición recogen lo malo de las partículas en suspensión del exterior y especialmente las emisiones de los vehículos), en tanto a su calidad y longevidad, es altamente dependiente del factor de mantenimiento. En este aspecto la ventaja de la tecnología LED sobre el resto de las empleadas tradicionalmente, tanto en sistemas simétricos como a contraflujo, es evidente. La inclusión en el proyecto de luminarias LED de calidad garantiza una larga vida útil y una mayor adaptación a la demanda instantánea.

El empleo de esta tecnología contribuye, por efecto directo del ahorro energético, a la reducción del calentamiento global al disminuir el GWP¹³ del conjunto de sistemas instalados, más cuantos más hayan sido sustituidos por los diodos emisivos de luz.

La propia tecnología LED requiere de cierta aplicación electrónica y depuración de componentes (semiconductores), de modo que la sociedad que puede formar con los sistemas automáticos de control de intensidad, encendido y apagado no suponen un coste añadido alto y entran en el grupo de actividad del sistema, con una gestión más sencilla que cuando aquellos se combinan con otras tecnologías como VASP.

No solo resultan más eficaces en el apagado y encendido, sino que se trata de los sistemas más eficientes en este aspecto, con una respuesta temporal que nada tiene que ver con los empleados tradicionalmente. Desde el punto de vista de la seguridad, estos encendidos y apagados se producen sin parpadeo alguno y en periodos de microsegundos, de efecto inapreciable para el ojo del conductor en el ejercicio de su labor al transitar por los túneles.

El bajo consumo LED se traduce en una alta eficacia luminosa, es decir, se producen muchos lúmenes por cada vatio de potencia consumido.

En los túneles se producen continuas vibraciones y fenómenos ondulatorios que someten a las luminarias. También en este caso las LED resultan las de menor sensibilidad a estas agresiones, manteniendo una iluminación de calidad durante más tiempo.

Los LED funcionan a baja tensión y eso supone una gran noticia para la seguridad en todos los sentidos, en especial en las operaciones de mantenimiento que procuran el retraso máximo de su depreciación y su máximo periodo de servicio en las condiciones de exigencia que se han descrito.

La luz emitida por el diodo resulta unidireccional, es sencillo orientarla hacia el punto que el diseño haya determinado para alcanzar los objetivos de intensidad luminosa. Un LED de calidad sirve ondas monocromáticas con alto brillo que contribuyen a la percepción correcta del resto de los vehículos u objetos que pudieran estar presentes en la vía enterrada o sus proximidades. Permiten su regulación en un amplio rango de potencias eléctricas (desde la nominal hasta un mínimo lejano) sin variación apreciable del color.

El dispositivo LED necesita evadir calor, cosa que hará con dificultad cuando las temperaturas de su entorno sean muy altas. Aunque las temperaturas en un túnel, como ocurre en una cueva natural, no sufren altas variaciones, en lugares donde las temperaturas estacionales puedan ser muy altas los LED pueden sufrir y reducir su vida útil, entiendo ésta como el período de tiempo que pasa en servicio la lámpara desde

Debe hacerse una buena selección del material LED. Si se guarda la calidad de los materiales y en especial la pureza de los semiconductores y la calidad de las soldaduras requeridas, las incidencias durante su vida útil tendrán una importancia muy baja frente al resto de las alternativas.

3.13. Medidas de ahorro en el alumbrado en túneles

En una instalación para vías a cielo abierto la potencia que se instala por cada kilómetro de longitud se encuentra alrededor de los 8-9 kW/km, cuando se disponen el techo y las paredes, en el túnel, se multiplica por 8 ó 10 esa potencia, alcanzando valores entre los 65 y los 85 kW.

En la evaluación energética de instalaciones, aunque se ha dedicado especialmente a edificación, se refiere la calidad del consumo energético a la relación entre la potencia y la superficie iluminada, anualmente (kW/m².año). En túneles la cifra se sitúa en 40 kW/m².año. Es un objetivo a medio plazo reducirla en un 25% para lo que se cuenta con el efecto sinérgico de las recomendaciones CIE para la iluminación del tramo de transición, la reducción de la velocidad de diseño y la aplicación de tecnologías de alto rendimiento luminoso y bajo consumo, papel que actualmente juegan los LED.

Los túneles no urbanos consumen energía por tres vías fundamentales:

- la iluminación (refuerzo en la boca de entrada y la interior),
- la ventilación, y
- los servicios complementarios.

El alumbrado significa alrededor de un 85% del consumo energético total en el túnel, así se convierte éste en el término prioritario sobre el que actuar para el ahorro energético.

Ya dentro del túnel, si se diferencia entre las zonas del mismo, entre un 60 y un 80% de la energía de alumbrado (85% del total del túnel) se consume entre la zona umbral y la de transición, el resto se corresponde al resto del alumbrado del túnel (el permanente, por diferenciarlo del de refuerzo). De esta forma se centra aún más el objetivo de ahorro energético en términos de consumo eléctrico.

Para una correcta estimación de la potencialidad de ahorro energético en el túnel se deben considerar variables como su orientación, las luminancias de velo atmosféricas, de parabrisas y de Fry y, si existe, las medidas adoptadas para disminuir las luminancias ambientales exteriores a la entrada de los túneles. Las fundamentales:

- Prever líneas de árboles o pantallas vegetales que oculten lo más posible el cielo y el horizonte en su lejanía, tapando el sol bajo rasante sobre el horizonte que resulta muy deslumbrante y perjudicial para la visión del conductor. Cuestiones a considerar también en la zona de salida del túnel.
- Implantar calzadas oscuras por el uso de materiales asfálticos con agregados que lo favorezcan y extiendan estas características a lo largo del tiempo.
- Procurar la ocultación de todos los elementos claros del entorno que entren en cualquier momento en el campo de visión del conductor o usuario de la vía en el momento de aproximación al túnel.

Cuando se atiende a esta serie de medidas pasivas de ahorro, los niveles de iluminación requeridos disminuyen sensiblemente a la entrada del túnel y de esta manera queda garantizado una buena parte del ahorro energético fuera cual fuese la tecnología lumínica empleada. El ahorro es importante porque se sabe que cuanto menor es la diferencia entre el nivel de iluminación exterior y el interior del túnel, menor es la distancia requerida para adaptar la visión del conductor.

Los efectos de deslumbramiento a la salida deben corregirse, en lo posible con medidas pasivas directamente sobre la infraestructura. Aunque se pueden combatir con el diseño del sistema de iluminación, para el ahorro energético conviene que la solución sea, en toda la parte posible, estructural. Por ejemplo en un túnel con una boca de salida cuya orientación es inconveniente para el deslumbramiento en el orden de marcha, resulta buena práctica por el ahorro energético curvar ligeramente la salida del túnel, aunque es posible que la amortización de esta medida sea función de los riesgos en seguridad de la vía en este tramo y de la longitud del túnel. La idea es permitir en cierto modo la penetración de la luz diurna, que indique al conductor la dirección de la salida, pero evitando su incidencia directa sobre los ojos, causa del deslumbramiento. Debe tenerse en cuenta que la reacción típica de un conductor cuando se encuentra en ese momento de deslumbramiento es acelerar para pasarlo cuanto antes, sabedor de que el efecto es característico de ese punto concreto del tramo y que este hecho, lógicamente, juega en contra de la seguridad.

En general las orientaciones E-O son inconvenientes en el trazado de cualquier carretera o vía para vehículos motorizados de alta velocidad y más cuando el tráfico es mixto. En este tipo de vías se conduce cara al Sol, de ida, por la mañana y cara al Sol, de vuelta, por la tarde, o a la inversa, de modo que el riesgo de deslumbramiento en el conjunto de la vía para sus usuarios diarios es muy alto. Si lo es en la vía a cielo abierto, tanto más en la boca de salida del túnel. Se puede adoptar, dentro de lo posible, la solución estructural de aumentar la cubierta del túnel en su salida; sin embargo, siempre se trata de un trazado comprometido que debería evitarse.

3.13.1. Reducción de los niveles de iluminación en túneles

Para el ahorro la primera medida es siempre la reducción de las necesidades. Menores requerimientos de iluminación derivan indefectiblemente en un ahorro energético considerable que, además, es permanente y forma parte de la infraestructura. No es un factor a corregir, sino un parámetro presente en el diseño.

Se puede atender a estrategias de reducción de los niveles de iluminación requeridos, siempre sin afección de los mínimos para la seguridad vial establecidos en el RD 635/2006, de 26 de mayo, estudiándolos en los periodos de día y de noche, siempre en la zona interior, donde no se requiere iluminación de refuerzo.

3.13.2. Reducción durante el día

Se define la primera sub-zona en la zona interior del túnel: longitud que, a la velocidad máxima autorizada, es cubierta por un vehículo en 30 segundos. En esta sub-zona la recomendación del CIE es que se cumpla con el 50% de lo establecido en su publicación nº 88¹⁴, con un mínimo en virtud de la seguridad, estimado en 3 cd/m². Las uniformidades (U_0) deben mantenerse en cualquier caso.

La segunda sub-zona interior, toda la que no es la primera, en ciclo diurno el nivel de luminancia media en la calzada del alumbrado base se refiere a la

¹⁴ 2004, de la publicación CIE nº 88, en concreto referencia sobre el cuadro 6.7.1 sobre túneles largos.

misma publicación¹⁵, estableciéndose en el mismo 50% esta vez sobre los túneles clasificados como "muy largos", nunca bajando de las 2 cd/m² teniendo especial cuidado en que se mantenga la uniformidad (U₀).

En el caso específico de túneles urbanos se mantendrán las uniformidades y nunca de bajará de las 4 cd/m².

Por tanto, siempre que se mantenga la uniformidad, los niveles mínimos de luminancia admisibles son:

• Túneles de autovías y carreteras

- Primera sub-zona:

$$L_m \geq 3 \frac{cd}{m^2}$$

- Segunda sub-zona:

$$L_m \geq 2 \frac{cd}{m^2}$$

• Túneles urbanos

- Zona interior:

$$L_m \geq 4 \frac{cd}{m^2}$$

En periodo diurno en lo que se refiere al alumbrado de la zona de entrada (umbral y transición) de los túneles, podrá reducirse el nivel luminoso al 50% en las condiciones que se exponen a continuación.

¹⁵ En este caso sobre el cuadro 6.7.2: túneles muy largos.

ANEXO 11:

National Fire Protection Association, Inc. Una Batterymarch Park Quincy, Massachusetts 02269 (2001). Estandar de los túneles de carretera, puentes, y otras carreteras de acceso limitado.

NFPA 502

Norma para la Túneles de carretera, puentes y otras Carreteras de acceso Limitado
Edición 2001

AVISO: El asterisco (*) después del número o letra que designa un párrafo indica que el material explicativo sobre el punto se encuentra en el Anexo A.

Los cambios que no sean editorial se indican con una regla vertical en el margen de las páginas en las que aparecen. Estas líneas se incluyen como una ayuda para el usuario en la identificación de los cambios de la edición anterior. Cuando se han suprimido uno o más párrafos completos, la deleción está indicado por una bala entre los párrafos que siguen.

Información sobre publicaciones de referencia se puede encontrar en Capítulo 2 y en el Anexo J.

Capítulo 1 Administración

1.1 Ámbito de aplicación.

1.1.1 Esta norma proporciona la protección contra incendios y seguridad contra incendios de vida para las carreteras de acceso limitado, túneles de carreteras, puentes, carreteras elevadas, carreteras deprimidas, y las carreteras que se encuentran debajo de las estructuras de aire adecuados.

1.1.2 Esta norma establece los requisitos mínimos para cada una de las instalaciones identificadas.

1.1.3 Esta norma no se aplica a los siguientes servicios: (1) Aparcamientos
(2) Terminales de autobuses
(3) Terminales de Camiones
(4) Cualquier otra instalación en la que viajan los vehículos de motor o están aparcados

1.1.4 Esta norma es aplicable en caso de una instalación, incluidas las especificadas en 1.1.3 (1) a (4), se considera apropiada por la autoridad competente.

1.2 Propósito. El propósito de esta norma es establecer los criterios mínimos que aseguren una protección contra el fuego y sus riesgos relacionados.

1.3 Aplicación.

1.3.1 * Las disposiciones de esta norma son necesarias para proporcionar protección frente a la pérdida de vidas y propiedades del fuego.

1.3.2 La autoridad competente determina la aplicación de esta norma a las alteraciones de las instalaciones contra incendios y mejoras del sistema de protección.

1.3.3 La parte de esta norma que cubre emergencias procedi-mientos se aplica a las instalaciones nuevas y existentes.

1.4 Retroactividad. Las disposiciones de esta norma reflejan un con-

instalación antes de la fecha de vigencia de la norma. Cuando se especifique, las disposiciones de esta norma serán retroactivas.

1.4.2 En los casos en que la autoridad competente determine que la situación actual presenta un grado inaceptable de riesgo, se permitirá a la autoridad competente para aplicar retroactivamente cualquier parte de esta norma que consideren apropiadas.

Se permitirá 1.4.3 Los requisitos de esta norma con carácter retroactivo a modificar si su aplicación claramente sería poco práctico, a juicio de la autoridad que tiene jurisdicción, y sólo cuando sea evidente que se proporciona un grado razonable de seguridad.

1.5 Equivalencia. Nada en la presente norma tiene por objeto prevenir el uso de sistemas, métodos o dispositivos de calidad equivalente o superior, la fuerza, la resistencia al fuego, la eficacia, durabilidad y seguridad respecto de las establecidas en esta norma. La documentación técnica deberá ser presentada a la autoridad que tenga jurisdicción para demostrar la equivalencia. El sistema, método o de-vice se autorizarán a los fines previstos por la autoridad competente.

1.6 unidades.

1.6.1 * Las unidades métricas de medida en esta norma están de acuerdo con el sistema métrico modernizado conocido como el Sistema Internacional de Unidades (SI). La unidad de litro (L), que está fuera de los mas reconocidos por el SI, se utiliza comúnmente en la industria internacional de la protección contra incendios. Las unidades correspondientes y los factores de conversión se indican en la tabla A.1.6.1.

1.6.2 Si un valor para la medida de lo dispuesto en esta norma es seguida por un valor equivalente en otras unidades, el primer valor establecido, se considerará como requisito. Un valor equivalente dado puede ser una aproximación.

Capítulo 2 publicaciones referenciadas

2.1 General. Los documentos o partes de los mismos que figuran en este capítulo se hace referencia en esta norma y serán parte con-considerado de los requisitos de este documento.

2.1.1 NFPA Publicaciones. Protección contra incendios Asociación Nacional, 1 Batterymarch Park, PO Box 9101, Quincy, MA 02269 - 9101

NFPA 10, Norma para extintores portátiles, edición 1998. NFPA 13, Norma para la instalación de sistemas de rociadores, 1999 edición.

NFPA 14, Norma para la instalación de tubo vertical, privadas Hy-Drant y Manguera Sistemas, edición de 2000.

NFPA 20, Norma para la instalación de bombas estacionarias para Protección contra Incendios, edición de 1999.

NFPA 22, Norma para Tanques de Agua para Protección contra Incendios privada, Edición 1998.

NFPA 70, Código Eléctrico Nacional ®, edición de 1999.

NFPA 70B, Práctica recomendada para equipos eléctricos
Mantenimiento, edición de 1998 ® ®

consenso de lo que es necesario proporcionar un grado aceptable de

NFPA 72 , National Fire Alarm Code , Edición de 1999 ® ®

Protección contra los riesgos tratados en esta norma en el NFPA 101, Código de
Seguridad Humana, Edición de 2000.

momento en que se emitió la norma.

1.4.1 A menos que se especifique lo contrario, las disposiciones de esta norma no se
aplicará a las instalaciones, equipos, estructuras o instala-ciones que existían o fueron
aprobados para la construcción o

NFPA 241, Norma para la protección de la construcción, alteración,
y las operaciones de demolición, edición de 2000.

NFPA 820, Norma para la Protección Contra Incendios en tratamiento de aguas
residuales y recolección, edición 1999.

NFPA 1963, Norma para conexiones de mangueras de incendio, edición 1998.

2.1.2 Otras Publicaciones.

2.1.2.1 ASTM Publicaciones. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, 100 Barr
Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959.

ASTM E 119, Métodos de Prueba Estándar para Pruebas de Fuego Building
Construcción y Materiales, 1997.

ASTM E 136, Método de prueba estándar para determinar el comportamiento de los
materiales en un horno de tubo vertical de 750 grados C, 1996.

2.1.2.2 La autoridad portuaria de Nueva York y Nueva Jersey Pub-cación. La Autoridad
Portuaria de Nueva York y Nueva Jersey, One World Trade Center, Nueva York, NY
10048.

Reglamento de Transporte de Materiales Peligrosos en el túnel y
Créditos Puente, 23 de noviembre de 1987.

2.1.2.3 Departamento de Transporte de los EE.UU. Publicaciones. Departamento de
Transporte de los EE.UU., 400 7th Street SW, Washington, DC 20590.

Título 49, Código de Regulaciones Federales, Parte 177.825, "Enrutamiento y
Requerimientos de capacitación para la clase 7 (radioactivos) Materiales".

Título 49, Código de Regulaciones Federales, Parte 397, Subparte C,
"Enrutamiento de materiales peligrosos no radiactivos."

Título 49, Código de Regulaciones Federales, Subtítulo B, Partes 100 al 199.

Capítulo 3 Definiciones

3.1 General. Las definiciones contenidas en el presente capítulo se aplicará a los términos utilizados en esta norma. Cuando no se incluyen términos, se aplicará el uso común de los términos.

3.2 NFPA Definiciones oficiales.

3.2.1 * Aprobado. Aceptable para la autoridad que tenga jurisdicción.

3.2.2 * Autoridad Competente. La organización, oficina o persona responsable de la aprobación de equipos, materiales, una instalación o un procedimiento.

3.2.3 etiquetados. Equipos o materiales a los que ha estado en-tached una etiqueta, símbolo u otra marca de identificación de una organización que sea aceptable para la autoridad competente, y que se trate con la evaluación del producto, que mantiene en la inspección periódica de la producción de equipo de la etiqueta o materiales, y por cuya etiqueta del fabricante indica el cumplimiento de las normas o de rendimiento adecuados en la manera especificada.

3.2.4 * listado. Equipos, materiales o servicios incluidos en una lista publicada por una organización que sea aceptable para la autoridad competente, y que se trate con la evaluación de los productos o servicios, que mantiene inspección periódica de la producción de equipos o materiales incluidos o evaluación periódica de los servicios, y cuya lista se establece que sea el equipo, material o servicio cumple con las normas pertinentes designados o ha sido probado y adecuado para un propósito determinado.

3.2.5. Indica un requisito obligatorio.

3.2.6 En caso de que. Indica una recomendación o lo que se aconseja pero no se requiere.

3.2.7 estándar. Un documento, el texto principal de los cuales sólo contiene disposiciones obligatorias que utilizan la palabra "debe" para indicar los requisitos y que está en una forma general, para referencia obligada por otra norma o código o adopción en ley. Disposiciones no obligatorias deberán estar ubicados en un apéndice, nota al pie o una nota en letra chica y no han de ser considerada una parte de los requisitos de una norma.

3.3 Definiciones Generales.

3.3.1 Agencia. La organización legalmente establecida y au-autorizadas para operar una instalación.

3.3.2 Alteración. Una modificación, sustitución, o cualquier otro cambio físico a una instalación existente.

3.3.3 Combustibles Alternativos. Un motor de combustible que la gasolina y el diesel-line vehículo.

3.3.4 Mecanismo auxiliar (es). Una estructura (s) por lo general utilizado para albergar o contener operación, mantenimiento o soporte equipos y funciones.

3.3.5 * Backlayering. La inversión del movimiento de humo y los gases calientes en contra de la dirección del flujo de aire de ventilación.

3.3.6 Bridge. Una estructura de expansión y proporcionar una carretera a través de un obstáculo tal como un canal de agua, ferrocarril, carretera u otra.

3.3.7 * Building. Cualquier estructura utilizados o destinados a apoyo-ing o albergar cualquier uso u ocupación.

3.3.8 Supervisión de la estación central (CSS). Un centro de operaciones dedicado donde el organismo controla y coordina las operaciones de las instalaciones y de los que la comunicación se mantiene con el personal de supervisión y de funcionamiento de la agencia y con el lugar donde se requiere agencias participantes.

3.3.8.1 alternativo estación de supervisión central. Un lugar previamente acordado, que está equipado, o que rápidamente se pueden equipar, para funcionar como la estación de supervisión central en el caso de la estación de supervisión central es inoperante, insostenible o inaccesibles por cualquier razón.

3.3.9 Combustible. Capaz de experimentar combustión.

3.3.10 Puesto de Mando. Un lugar para el control de las operaciones de emergencia y coor-dinación y designada como tal por la persona al mando durante una emergencia.

3.3.11 Comunicaciones. Servicios de radio, teléfono y mensajería a través de la instalación y sobre todo en el puesto de mando de la estación y la supervisión central.

3.3.12 Válvula de Control. Una válvula utiliza para controlar el sistema de suministro de agua de un sistema de tubo vertical.

3.3.13 velocidad crítica. La velocidad mínima de estado estacionario de la corriente de aire de ventilación en movimiento hacia el fuego, dentro de un túnel o paso, lo que se requiere para prevenir backlayering en el sitio del incendio.

3.3.14 Diseño Fuego. Una tasa de extinción de liberación de calor, en megavatios, designado en conjunto con la autoridad que tenga jurisdicción según el tamaño del incendio de diseño.

3.3.15 Standpipe seco. Un sistema de tubo vertical que está diseñado para contener agua sólo mientras se está utilizando el sistema.

3.3.16 Sobre Vehicle Dynamic. El espacio dentro de la calzada túnel que se asigna para el movimiento máxima del vehículo.

3.3.18 * Análisis de Ingeniería. Un análisis que evalúa todos los factores que afectan a la seguridad contra incendios de una instalación o un componente de una instalación.

3.3.19 Instalación. Una carretera de acceso limitado, túnel, puente o carretera elevada.

3.3.20 Aparato Fuego. Un vehículo utilizado para la extinción de incendios o el apoyo de un cuerpo de bomberos, cuerpo de bomberos, u otro organismo responsable de la protección contra incendios.

3.3.21 Conexión Departamento de Bomberos. Una conexión a través del cual el departamento de bomberos puede bombear agua suplementaria en el sistema de rociadores, tubo vertical, u otro sistema, el agua equipamiento de extinción del fuego para complementar el suministro de agua existente.

3.3.22 Emergencia Fuego. La existencia o amenaza de incendios o el desarrollo de los humos o vapores, o cualquier combinación de los mismos, que exige medidas inmediatas para corregir o aliviar la condición o situación.

3.3.23 Highway. Cualquier instalación pavimentada en la que el motor de avance vehícu-los.

3.3.23.1 * Highway deprimido. Una carretera sin cubrir, por debajo de grado o sección barco, donde las paredes se elevan a la superficie y el grado de respuesta de emergencia, donde el acceso se limita generalmente.

3.3.23.2 autopista elevada. Una carretera que se construye en una estructura que está por encima de la superficie, pero que no cruza sobre un obstáculo como en el caso de un puente.

3.3.23.3 autopista de acceso limitado. Una carretera donde se da preferencia a través del tráfico, proporcionando conexiones que utilizan sólo las vías públicas seleccionadas acceso y al prohibir cruces en el grado y en las calzadas privadas directas.

3.3.24 Conexión de la manguera. Una combinación de equipos de pro-Vided para la conexión de una manguera a un sistema de tubo vertical que incluye una válvula de manguera con una salida roscada.

3.3.25 Válvula de manguera. La válvula de conexión de la manguera a un individuo.

3.3.26 Comandante de Incidentes. La persona responsable de todas las decisiones relativas a la gestión del incidente.

3.3.27 Longitud del túnel. La longitud de la cara de portal a la cara de portal que se mide usando la alineación de línea central a lo largo de la calzada del túnel.

3.3.28 motorista. Un ocupante de un vehículo de motor, incluyendo el conductor y el acompañante (s).

3.3.29 MUTCD. Manual de Dispositivos Uniformes de Control de Tráfico de Calles y Carreteras.

3.3.30 material no combustible. No es capaz de soportar la combustión.

3.3.31 Participar Agencia. Un organismo público, semipúblico o privado que se ha comprometido a cooperar y ayudar a las autoridades en caso de emergencia.

3.3.32 persona al mando. Una persona designada por una agencia o un incendio o una representante de la policía responsable en la escena de una emergencia que es plenamente responsable en el puesto de comando. (Véase también la definición de Comandante de Incidentes.)

3.3.33 * Punto de Seguridad. Una salida de incendio cerrado que conduce a una vía pública o lugar seguro fuera de la estructura, o un punto en el grado más allá de cualquier estructura envolvente; o en otra área que la protección adecuada AF-vados para los automovilistas.

3.3.34 extintor portátil. Un dispositivo portátil, llevar en la mano o sobre ruedas y operado por la mano, que contiene un agente de extinción que puede ser expulsado bajo presión con el fin de suprimir o extinguir un incendio.

3.3.35 Portal. La interfaz entre un túnel y la atmósfera a través del cual pasan los vehículos; un punto de conexión a una instalación adyacente.

3.3.36 Subestación eléctrica. Un arreglo de equipos eléctricos que no genera electricidad, pero recibe y conversos o transforma la energía generada a utilizables de energía eléctrica.

3.3.37 cola. Una fila de vehículos almacenados.

03/03/38 Reemplazar en Especie. Cuando se aplica a los equipos y instalaciones, para amueblar las nuevas piezas o equipos del mismo tipo pero no necesariamente de idéntico diseño.

3.3.39 Tunnel Road. Un camino cerrado para el tráfico de vehículos de motor con el acceso de vehículos que se limita a los portales.

3.3.40 Carreteras. El volumen de espacio que se encuentra por encima de la superficie del pavimento a través del cual viajan vehículos de motor.

3.3.41 Estructura. Lo que está construido o construida.

3.3.41.1 * Estructura Air-derecha. Una estructura que se construye sobre una carretera con derechos de aire de la calzada.

Capítulo 4 Requisitos generales

4.2 Salvaguardias durante la construcción. Durante el curso de la construcción o modificación de cualquier instalación abordado en esta norma, se aplicarán las disposiciones de la norma NFPA 241, Norma para la protección de la construcción, alteración, demolición, y Operaciones.

4.3 Protección contra incendios y contra incendios Vida Factores de Seguridad.

4.3.1 Como mínimo, los siguientes factores serán evaluados en un análisis de ingeniería y en la aplicación de los requisitos de seguridad contra incendios y la vida de las instalaciones objeto de esta norma:

- (1) La protección de la vida
- (2) acceso vehicular restringido y salida
- (3) emergencias de incendios que van desde incidentes menores a las grandes catástrofes
- (4) emergencias de incendios se presentan en uno o más lugares
- (5) emergencias contra incendios que ocurren en lugares remotos a una gran distancia de servicios de respuesta de emergencia
- (6) La exposición de la estructura a temperaturas elevadas
- (7) La congestión del tráfico y el control en situaciones de emergencia
- (8) Las características incorporadas de protección contra incendios, tales como las siguientes:
 - (A) los sistemas de alarma contra incendios (b) sistemas de columnas (c) sistemas de rociadores (d) Los sistemas de ventilación
- Requisitos de evacuación y salvamento (9) Protección de los componentes de las instalaciones (10) (11) el tiempo de respuesta de emergencia
- (12) puntos de acceso de vehículos de emergencia independientes
- (13) Las comunicaciones de emergencia a las agencias apropiadas
- (14) La protección de los vehículos y los bienes que se transportan
- (15) ubicación de las instalaciones, tales como las siguientes: (a) Urbano (B) Rural
- (16) Dimensiones físicas

4.3.2 Las carreteras de acceso limitado.

4.3.2.1 carreteras de acceso limitado pueden incluir otros servicios regulados por esta norma.

4.3.2.2 Protección contra incendios para las autopistas de acceso limitado deberá cumplir con los requisitos del Capítulo 5.

4.3.3 Puentes y carreteras elevadas.

4.3.3.1 * elementos estructurales críticos estarán protegidos de la colisión y la exposición a altas temperaturas que pueden causar debilitamiento peligroso o colapso total del puente o una carretera elevada.

4.3.3.2 Protección contra incendios para puentes y carreteras elevadas deberá cumplir con los requisitos del Capítulo 6.

4.3.4 * Carreteras deprimidos.

4.3.4.1 La instalación de sistemas de columnas o los extintores de incendios guishers, o ambos, podrán ser considerados para su uso en las carreteras deprimidas donde los factores físicos impiden o dificultan el acceso al suministro de agua o de bomberos.

4.3.4.2 Requisitos adicionales para la protección contra incendios de las carreteras deprimidas se describen en el capítulo 8.

4.3.5 * túneles de carretera. Protección contra incendios para los túneles de carretera deberá cumplir con los requisitos del Capítulo 7.

4.3.6 * Carreteras Bajo Estructuras Aire derecho.

4.3.6.1 Los límites de una estructura de aire derecho impone a la accesibilidad y la función de la vía que se encuentra debajo de la estructura de emergencia se evaluarán.

4.3.6.2 Cuando una estructura de aire derecho encierra a ambos lados de una carretera, se considerará un túnel de carretera para fines de protección contra incendios y se ajustarán a los requisitos del capítulo 7.

4.3.6.3 Cuando una estructura de aire derecho no encierra totalmente la carretera a ambos lados, la decisión de considerar como un túnel de carretera se efectuará por la autoridad competente después de un análisis técnico de conformidad con 4.3.1.

4.3.6.4 Protección contra incendios para las carreteras que se encuentran debajo de las estructuras de aire derecho deberá cumplir con los requisitos del Capítulo 8.

Capítulo 5 autopistas de acceso limitado

5.1 General. En este capítulo se proporcionará protección contra incendios requisitos para las carreteras de acceso limitado.

5.2 Comunicaciones de Emergencia. Comunicaciones de emergencia, cuando sea requerido por la autoridad competente, estarán a cargo de la instalación de cajas telefónicas de tipo al aire libre, estaciones telegráficas alarmas codificadas, transmisores de radio u otros dispositivos aprobados. Tales productos deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- (1) Deberán ser visibles a través de las luces indicadoras u otros marcadores aprobados.
- (2) Deberán ser identificados por un número de placa visible u otro dispositivo aprobado.
- (3) Deberán ser publicadas las instrucciones para el uso de los automovilistas. (4) Deberán estar ubicados en lugares autorizados, para que motoristas pueden aparcar vehículos alejados de los carriles de circulación.

5.3 Señalización. Signos, puntos kilométricos, u otros marcadores de referencia de ubicación aprobadas deben ser instalados a lo largo de la carretera a los automovilistas al-bajos para proporcionar a las autoridades con la ubicación precisa de accidente o zonas de emergencia.

5.4.1 Disposiciones para la respuesta de cerca fuego compañías y escuadrones de emergencia se harán parte del proceso de planificación de la respuesta de emergencia.

5.4.2 Cuando se incluirá una vía de acceso que permite a ayuda exterior compañías para entrar en el centro se ofrece, los procedimientos para el uso de dicho acceso en el plan de respuesta de emergencia.

5.4.3 Precauciones deben ser tomadas en los puntos de entrada para alertar y controlar el tráfico para permitir que los equipos de emergencia para entrar con seguridad.

5.5 * Instalaciones auxiliares. Todas las instalaciones auxiliares que apoyan la operación de carreteras de acceso limitado serán protegidos como es requerido por todos los estándares aplicables de la NFPA y los códigos de construcción locales y no estarán sujetos a las disposiciones de la presente norma.

5.6 Plan de Respuesta a Emergencias.

5.6.1 Una autoridad designada llevará a cabo un programa completo y coordinado de protección contra incendios que incluirá auto-diez procedimientos de respuesta de emergencia planificada de antemano y los procedimientos operativos estándar.

5.6.2 Los procedimientos de control de tráfico de emergencia se estableció para regular el tráfico durante una emergencia.

5.6.3 Procedimientos de emergencia y el desarrollo de un plan de respuesta de emergencia deberá hacerse con arreglo a los requisitos del Capítulo 12.

Capítulo 6 puentes y carreteras elevadas

6.1 * general. En este capítulo se proporcionará protección contra incendios requisitos de puentes y carreteras elevadas.

6.2 Comunicaciones de Emergencia. Comunicaciones de emergencia, cuando sea requerido por la autoridad competente, estarán a cargo de la instalación de cajas telefónicas de tipo al aire libre, estaciones telegráficas alarmas codificadas, transmisores de radio u otros dispositivos aprobados. Tales productos deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- (1) Deberán ser visibles a través de las luces indicadoras u otros marcadores aprobados.
- (2) Deberán ser identificados por un número de placa visible u otro dispositivo aprobado.
- (3) Deberán ser publicadas las instrucciones para el uso de los automovilistas. (4) Deberán estar ubicados en lugares autorizados, para que motorists pueden aparcar vehículos alejados de los carriles de circulación.

6.4 Control de Tráfico.

Se establecerá 6.4.1 Un procedimiento de control de tráfico para que los vehículos o bien detener o proceder con precaución.

6.4.2 El tráfico no se le permitirá bloquear o interferir de otro modo en la respuesta de los equipos de emergencia y bomberos.

6.5 * Tubo vertical y suministro de agua. Cuando la distancia desde una fuente de suministro de agua aceptable tal como se define en 9.2.3 a cualquier punto en el puente superior a 120 m (400 pies), el puente deberá estar provisto de un sistema de columna de acuerdo con el capítulo 9.

6.6 Drenaje.

6.6.1 En puentes y carreteras elevadas, los sistemas de drenaje para canalizar y recoger derramado líquidos peligrosos o inflamables deben estar diseñados para drenar las áreas que no pueden causar riesgos adicionales.

6.6.2 Las juntas de dilatación deben diseñarse para evitar que se derrame en la zona debajo del puente o una carretera elevada.

6.7 * Instalaciones auxiliares. Todas las instalaciones auxiliares que apoyo la operación de puentes y carreteras elevadas, serán protegidas como es requerido por todos los estándares aplicables de la NFPA y los códigos de construcción locales y no estará sujeto a las disposiciones de esta norma.

6.8 Control de Materiales Peligrosos. Control de los materiales peligrosos se realizará de conformidad con los requisitos del Capítulo 13.

6.9 Plan de Respuesta a Emergencias.

6.9.1 Una autoridad designada llevará a cabo un programa completo y coordinado de protección contra incendios que incluirá auto-diez procedimientos de respuesta de emergencia planificada de antemano y los procedimientos operativos estándar.

6.9.2 los procedimientos de respuesta de emergencia y el desarrollo de un plan de respuesta de emergencia deberán cumplir con los requisitos del Capítulo 12.

Capítulo 7 túneles de carretera

7,1 * general. En este capítulo se proporcionará protección contra incendios y los requisitos de seguridad de la vida de los túneles de carretera.

7.2 Longitud de la carretera del túnel. A los efectos de esta norma, la longitud del túnel se determinará el mínimo de protección contra incendios requisitos, de la siguiente manera:

(1) Cuando la longitud del túnel es inferior a 90 m (300 pies), no se aplicarán las disposiciones de la presente norma.

- (2) Cuando la longitud del túnel es de 90 m (300 pies) o más, los sistemas de tuberías verticales y sistemas de control de tráfico deben ser instalados de acuerdo con los requisitos del Capítulo 9 y la Sección 7.5, respectivamente.
- (3) Cuando la longitud del túnel es igual o superior a 240 m (800 pies) y que la distancia máxima desde cualquier punto dentro del túnel a una zona de seguridad superior a 120 m (400 pies), serán de aplicación todas las disposiciones de la presente norma.
- (4) Cuando la longitud del túnel es igual o superior a 300 m (1000 pies) se aplicarán todas las disposiciones de la presente norma.

7.3 Detección de Incendios.

7.3.1 Por lo menos dos sistemas para detectar, identificar o localizar a un incendio en un túnel, como uno de los medios manuales, se proveerán.

7.3.1.1 Cajas de Detección de Incendios doble acción manual.

7.3.1.1.1 doble efecto cajas de alarma contra incendios manuales instalados en NEMA 4 (IP65) o cajas equivalentes serán instalados a intervalos de no más de 90 m (300 pies) y en todas las galerías de conexión y medios de salida de el túnel.

7.3.1.1.2 Las cajas de alarma contra incendios manuales deberán ser accesibles al público y al personal del túnel.

7.3.1.1.3 La ubicación de las cajas de alarma contra incendios manual deberá ser aprobado.

7.3.1.1.4 La alarma indicará la ubicación de las cajas manuales de alarma de incendio en la estación de monitoreo.

7.3.1.1.5 El sistema deberá estar en conformidad con la norma NFPA 72®, National Fire Alarm Code®.

7.3.1.2 Sistema de circuito cerrado de televisión (CCTV).

7.3.1.2.1 Los sistemas de televisión de circuito cerrado (CCTV) con o sin dispositivos de indicación de flujo de tráfico se les permitirá identificar los incendios en túneles con supervisión las 24 horas.

7.3.1.2.2 * espacios auxiliares dentro de los túneles (estaciones de bombeo, salas UTILITY, pasajes transversales, estructuras de ventilación) y otros ar-eas serán supervisados por los sistemas automáticos de alarma contra incendios.

7.3.1.3 Sistemas de detección automática de incendios.

7.3.1.3.1 Los sistemas de detección automática de incendios instalados de acuerdo con los requisitos de NFPA 72, Código Nacional de Alarmas de Incendio se instalarán en

7.3.1.3.5 Cuando un sistema de detección de incendios está instalado de acuerdo con los requisitos de 7.3.1.3.1, el sistema será sólo para la detección de incendios.

7.3.1.3.4 Los sistemas automáticos de detección de incendios deberán ser capaces de identificar la localización del fuego dentro de 15 m (50 pies).

7.3.1.3.5 detectores de comer tendrán una luz que permanece encendida hasta que el dispositivo se reinicia.

7.3.1.3.6 Sistema de detección automática de incendios dentro de un túnel se divide en zonas que se correspondan con las zonas de ventilación del túnel donde se proporciona la ventilación de túneles.

7.3.2 Panel de control de alarma de incendio. Una alarma del panel de control de incendios aprobado (FACP) se proporciona de acuerdo con la norma NFPA 72, Código Nacional de Alarmas de Incendio.

7.4 * Sistemas de Comunicaciones.

7.5 Control de Tráfico.

7.5.1 túneles de más de 90 m (300 pies) estará provisto de un medio para detener el tráfico que entre en el túnel después de la activación de una alarma de incendio en el túnel.

7.5.2 Los túneles de carretera más largo de 240 m (800 pies) estará provisto de medios para detener el tráfico de entrar en los enfoques directos al túnel, para controlar el tráfico en el túnel, y para despejar aguas abajo de tráfico del sitio del fuego después de la activación de un alarma de incendio en el túnel. Se aplicarán los siguientes requisitos:

- (1) Los enfoques directos al túnel se cerrarán después de la activación de una alarma de incendio en el túnel. Enfoques serán cerrados de forma tal que respondan vehículos de emergencia no se ven obstaculizados en tránsito hacia el lugar del incendio.
- (2) El tráfico dentro del túnel se acerca (aguas arriba) del sitio del fuego se detuvo antes del lugar del incendio hasta que sea seguro para proceder según lo determinado por el comandante del incidente.
- (3) Se proveerán medios aguas abajo del lugar del incendio para agilizar el flujo de vehículos en el túnel de modo que no hay tráfico está en la cola de aguas abajo del lugar del incendio.
- (4) La operación deberá ser devuelto a la normalidad según lo determinado por el comandante del incidente.

7.6 Aparato de fuego. Anexo I proporciona información adicional sobre los camiones de bomberos de los túneles de carretera.

7.7 Standpipe y suministro de agua. Los sistemas de suministro de tuberías verticales y el agua en los túneles de carretera deberán cumplir con los requisitos del Capítulo 9.

7.8 * Extintores Portátiles.

7.8.1 Los extintores portátiles de incendios, con una calificación de 2-A :20-B: C, se encuentran a lo largo de la carretera en los gabinetes de pared aprobados a intervalos de no más de 90 m (300 pies).

7.8.2 Para facilitar el uso seguro de los automovilistas, el peso máximo de cada extintor deberá ser de 9 kg (20 lb).

7.8.3 Los extintores portátiles deberán estar de acuerdo con NFPA 10, Norma para extintores portátiles.

7.9 * Extintor de incendio. Cuando los rociadores se instalan en los túneles de carretera, el sistema deberá ser instalado de acuerdo con la norma NFPA 13, Norma para la instalación de sistemas de rociadores.

7.10 Ventilación durante emergencias contra incendios. Sistemas de ventilación de túneles utilizados en situaciones de emergencia contra incendios deberán cumplir con los requisitos del Capítulo 10.

7.11 Sistema de drenaje del túnel.

7.11.1 * Un sistema de drenaje se facilitará en túneles para coleccionar, tienda, o la descarga de efluentes en el túnel, o en forma por una combinación de estas funciones.

7.11.2 El sistema de recolección de drenaje se diseñará de forma que los derrames de líquidos peligrosos o inflamables no pueden propagarse lo largo de la longitud del túnel.

7.11.3 Componentes del sistema de recolección de drenaje, incluyendo las principales líneas de drenaje, deberán ser no combustibles (por ejemplo, acero, hierro dúctil, o de hormigón).

No se permitirán 7.11.4 cloruro de polivinilo (PVC), tubería de fibra de vidrio u otro material combustible.

7.11.5 El sistema de recogida deberá evacuarse hacia un tanque de almacenamiento o transferencia de la estación de bombeo de la suficiente capacidad para recibir, como mínimo, la tasa de flujo simultáneo de dos mangueras de incendio sin causar inundaciones en la calzada.

7.11.6 Lugares peligrosos.

7.11.6.1 Los tanques de almacenamiento y estaciones de bombeo se clasificarán para lugares peligrosos de conformidad con la norma NFPA 70, Código Eléctrico Nacional ® y NFPA 820, Norma para la Protección Contra Incendios en tratamiento de aguas residuales y recolección.

7.11.6.2 Todos los motores, arrancadores, reguladores de nivel, y los controles del sistema deben cumplir con los requisitos de la clasificación de los peligros.

7.11.7 Detección de hidrocarburos.

7.11.7.1 Los tanques de almacenamiento y estaciones de bombeo se controlarán los hidrocarburos.

7.11.7.2 La detección de hidrocarburos en la cuenca del túnel efluentes deberá iniciar tanto una alarma local y remota.

7.12 * Instalaciones auxiliares. Todas las instalaciones auxiliares que apoyan el funcionamiento de los túneles de carretera deben estar protegidos como es requerido por todos los estándares aplicables de la NFPA y los códigos de construcción locales y no están cubiertos bajo esta norma.

7.13 Combustibles alternos. Anexo F proporciona información adicional sobre los combustibles alternativos.

7.14 Control de Materiales Peligrosos. Control de materiales peligrosos deberá cumplir con los requisitos del Capítulo 13.

7.15 Plan de Respuesta a Emergencias.

7.15.1 Una autoridad designada deberá realizar un programa completo y coordinado de protección contra incendios que incluirá auto-diez procedimientos de respuesta de emergencia planificada de antemano y los procedimientos operativos estándar.

7.15.2 los procedimientos de respuesta de emergencia y el desarrollo de un plan de respuesta de emergencia deberán cumplir con los requisitos del Capítulo 12.

7.16 Salida de Emergencia.

7.16.1 general. Requisitos de salida de emergencia para todos los túneles de carretera y los caminos bajo las estructuras de aire adecuados que la autoridad competente determine que son similares a un túnel de carretera deben estar de acuerdo con 7.16.2 por 7.16.7.

7.16.2 Identificación. Las salidas de emergencia y los pasillos transversales serán marcados de conformidad con la Sección 7.10 de la norma NFPA 101®, Código de Seguridad Humana®.

7.16.3 superficie para caminar.

7.16.3.1 Las superficies de paso de las salidas de emergencia, pasillos transversales y pasillos serán antideslizantes.

7.16.3.2 Los cambios en la elevación, rampas y escaleras deberán cumplir los requisitos del capítulo 7 de la NFPA 101, Código de Seguridad Humana.

7.16.3.3 * Medio ambiente sostenible. Un entorno sostenible se facilitará en las partes del túnel que no están involucrados en una emergencia y en todas las salidas de emergencia y los pasillos transversales.

7.16.4 Puertas

7.16.4.1 Las puertas de las salidas de emergencia deberán abrirse en la dirección de desplazamiento de salida.

7.16.4.2 Puertas para cruzar pasillos se permitirá abrir en cualquier dirección.

7.16.4.3 Las puertas se enumerarán las puertas cortafuegos con un mínimo Clasificación de 1 hora y se instalará de acuerdo con NFPA 80, Norma para incendios Puertas y Ventanas Fuego.

7.16.4.4 Las puertas deben estar equipados con hardware de acuerdo con la norma NFPA 101, Código de Seguridad Humana.

7.16.4.5 La fuerza necesaria para abrir las puertas totalmente cuando se aplica al lado de la cerradura debe ser lo más baja posible, pero no excederá de 222 N (50 lb).

7.16.4.6 Puertas y hardware deben estar diseñados para soportar presiones positivas y negativas creadas por el paso de vehículos.

7.16.5 Mantenimiento. Las salidas de emergencia, pasillos transversales y pasillos deberán mantenerse para permitir su uso previsto.

7.16.6 Salidas de emergencia.

7.16.6.1 Las salidas de emergencia deberán ser proporcionados en todo el túnel y situados de tal forma que la distancia de recorrido a una salida de emergencia no será superior a 300 m (1000 pies).

7.16.6.2 * Las salidas de emergencia deben cumplir con NFPA 101, Vida Código de Seguridad, Capítulo 7.

7.16.6.3 Las salidas de emergencia deberán estar entre un mínimo 2 horas carcasa resistente al fuego con un acabado interior Clase A según se define en la norma NFPA 101, Código de Seguridad Humana.

7.16.7 Los corredores de la Cruz. Cuando túneles están divididas por un mínimo de 2 horas de construcción resistente al fuego o en túneles son en agujeros dobles, pasillos transversales entre los túneles estarán autorizados a ser utilizada en lugar de salidas de emergencia. Los siguientes requisitos deberán cumplirse:

(1) Los corredores de la Cruz no distará más de 200 m (656 pies) aparte.

(2) Las aberturas en los pasillos transversales estarán protegidos con sistemas de puertas cortafuegos de cierre automático con un mínimo de un Clasificación de 1 hora y se instalará de acuerdo con NFPA 80, Norma para incendios Puertas y Ventanas Fuego.

(3) Una pasarela de salida de emergencia con un 0.91 m anchura libre mínima (3,6 pies) se proporcionará a cada lado de los pasillos transversales.

(A) Los pasillos deberán estar protegidos de tráfico que se aproxima ya sea por una acera, o un cambio en la elevación o barrera.

- (C) Levantar las pasarelas en los túneles tendrán guardias en conformidad con el apartado 7.2.2.4 de la norma NFPA 101, Código de Seguridad Humana.
- (D) No se exigirá carriles intermedios para los guardias de la calzada.
- (4) Cuando los portales del túnel están por debajo del nivel superficial, grado superficie debe ser accesible por una escalera, rampa de vehículos, o una rampa peatonal.

Capítulo 8 Vías Debajo Estructuras Aire Derecha

8.1 * General. En este capítulo se proporcionará protección contra incendios y seguridad de vida para las carreteras, donde una estructura se construye con los derechos del aire por encima de la carretera.

- 8.2 Aplicación. Cuando así lo exija la autoridad jurisdicción, se aplicarán las disposiciones del capítulo 4.

8.3 Control de Tráfico.

8.3.1 Cuando la carretera por debajo de una estructura de aire derecho se considera un túnel de carretera, se aplicarán los requisitos de control de tráfico de la Sección 7.5.

8.3.2 El sistema de control del tráfico deberá estar interconectado con el sistema de alarma contra incendios de tal manera que el sistema de control puede ser operado desde una fuente remota o desde cualquiera de los extremos de la carretera que pasa por debajo de la estructura aire-derecha.

8.4 Protección de la Estructura.

8.4.1 Todos los elementos estructurales que soportan las estructuras de aire justo sobre las vías y todos los componentes que proporcionan separación entre las estructuras y vías de aire adecuadas tendrán una resistencia al fuego de 4 horas mínimo, de acuerdo con la norma ASTM E 119, de prueba estándar Métodos para Pruebas de Fuego de la construcción de edificios y materiales.

8.4.2 Los elementos estructurales con un incendio calificación mínima de 2 horas de resistencia se permitirá que el tamaño del incendio de-signo esperado (tasa de liberación de calor del fuego) es de 20 MW o menos líquidos e inflamables en carga a granel (peligrosos) están prohibidas de la carretera.

8.4.3 Los elementos estructurales deben estar protegidos contra daños físicos del impacto de un vehículo. La inspección y reparación programa se mantendrán en vigor para controlar y mantener la estructura y su protección.

8.4.4 Mantenimiento de la estructura deberá ser considerado en el diseño.

8.4.6 Los edificios que se encuentran por encima de las carreteras serán de-firmaron con la consideración de la carretera por debajo de una estructura de aire derecho como una posible fuente de calor, el humo y las emisiones del vehículo.

8.4.7 Los elementos estructurales deben ser diseñados para proteger la estructura de aire derecho y sus habitantes de estos peligros potenciales.

8.4.8 El diseño de la estructura de aire adecuado ni se aumenta el riesgo, ni crear ningún riesgo para los que utilizan el camino de ida a continuación.

8.5 Ventilación Durante Emergencias fuego.

8.5.1 Capítulo 10 se aplicará cuando se requiere ventilación durante una emergencia de incendio en la carretera por debajo de una estructura de aire justo en la Sección 7.2.

8.5.2 La prevención o la minimización de sus efectos adversos sobre las estructuras de aire adecuados y sus ocupantes de los productos contra incendios, como el calor, el humo y los gases tóxicos se considerarán en el diseño del sistema de ventilación.

8.6 Sistema de Drenaje. Cuando lo exija el que tenga jurisdicción un sistema de drenaje de la autoridad que se ha diseñado de acuerdo con los requisitos de la Sección 7.11 serán las previstas en las carreteras bajo las estructuras de aire adecuados.

8.7 Control de Materiales Peligrosos. Control de materiales peligrosos deberá cumplir con los requisitos del Capítulo 13.

8.8 Plan de Respuesta a Emergencias.

8.8.1 Cuando una estructura de aire derecho comprende un edificio o fa-cility, se elaborará un plan de respuesta de emergencia mutuo entre el operador de la estructura aire-derecha, el operador de la calzada, y la autoridad local competente para que, durante una emergencia, ya sea en la estructura aire-derecha o la calzada, se mejora la seguridad de los automovilistas que utilizan la carretera y los ocupantes de la estructura aire-derecha.

8.8.2 los procedimientos de respuesta de emergencia y el desarrollo de los planes de respuesta de emergencia deberán cumplir con los requisitos del Capítulo 12.

Capítulo 9 Standpipe y suministro de agua

9.1 Sistemas de tubo vertical.

9.1.1 Los sistemas de tuberías verticales para túneles de carreteras, puentes, autopistas, carreteras elevadas deprimidos, carreteras bajo estructuras aire-derecha, y las carreteras de acceso limitado se diseñarán e instalado los sistemas de Clase I de acuerdo con la norma NFPA 14, Norma para la Instalación de tuberías verticales, Boca privado, y de la manguera Systems.

9.1.2 El caudal necesario para el sistema de columna no estará obligado a superar 1,920 L / min (500 gpm).

9.1.3 Los sistemas de tuberías verticales deberán ser húmedo o seco, dependiendo de las condiciones climáticas, los tiempos de llenado, los requisitos de la autoridad competente, o cualquier combinación de los mismos.

9.1.4 Las áreas sujetas a congelación.

9.1.4.1 Cuando se requieren tomas de agua en áreas sujetas a temperaturas bajo cero, el agua se calentará y distribuida.

9.1.4.2 Todas las tuberías y accesorios que están expuestos a condiciones de congelación serán trazado de calor y aislamiento.

9.1.5 sistemas de alimentación de agua deberán estar provistos de interconexión adecuado y disposiciones de válvula de derivación para permitir el aislamiento y la reparación de cualquier segmento sin menoscabo de la operación del resto del sistema.

9.1.6 * sistemas de columnas secas deben instalarse de una manera para que el agua se entrega a todas las conexiones de la manguera en el sistema en 10 minutos o menos.

9.1.7 sistemas de columnas secas tendrán provisiones para drenaje completa después de su uso.

9.1.8 Las válvulas de alivio de vacío / aire combinados deberán ser instalados en cada punto de alta en el sistema.

9.1.9 grifos secos deben ser instalados de manera que la accesibilidad proporcional para su inspección y reparación.

9.1.10 Los sistemas de tuberías verticales deberán estar protegidos contra el daño de los vehículos de transporte.

9.2 Suministro de Agua.

9.2.1 Los sistemas de alimentación de agua (automático o semiautomático) deberán estar conectados a un suministro de agua aprobado, que es capaz de abastecer la demanda del sistema durante un mínimo de 1 hora.

9.2.2 Los sistemas de columnas secas deben tener un suministro de agua aprobado, que es capaz de abastecer la demanda del sistema durante un mínimo de 1 hora.

9.2.3 suministros de agua aceptables deben incluir lo siguiente: (1) sistemas de acueductos municipales o de propiedad privada que tengan la presión adecuada y la tasa de flujo y un nivel de integridad aceptable para la autoridad competente
(2) bombas automáticas o controladas manualmente contra incendios que están conectadas a una fuente de agua aprobada
(3) de tipo de presión o los tanques de almacenamiento de tipo gravedad que se instalado, de acuerdo con la norma NFPA 22, Norma para Tanques de Agua para Protección contra Incendios privado

9.3 Conexiones del Departamento de Bomberos.

9.3.1 conexiones departamento de bomberos debe ser de dos vías o de tres vías tipo roscado o se constituirá con la de 100 mm (4 pulg.) De acoplamiento de conexión rápida que se puede acceder a un departamento de bombeo contra incendios.

9.3.2 Cada sistema de tubo vertical independiente tendrá un mínimo de dos conexiones del departamento de bomberos que se encuentran a distancia el uno del otro.

9.3.3 Conexiones del departamento de bomberos deben estar protegidos contra daños vehicular mediante bolardos u otras barreras aprobadas.

9.3.4 Siempre que sea posible, la conexión de bomberos localizaciones se coordinarán con el acceso de emergencia y lugares de respuesta.

9.4 Conexiones de la manguera.

9.4.1 Conexiones de manguera estarán espaciadas de forma que ningún lugar en la carretera protegida es más de 45 m (150 pies) de la conexión de la manguera.

9.4.2 espaciamiento de mangueras de conexión no debe exceder 85 m (275 pies).

9.4.3 Conexiones de manguera deberán estar situados de forma que sean conspicuo y cómodo, pero todavía razonablemente protegidos contra los daños causados por los vehículos errantes o vándalos.

9.4.4 Conexiones de manguera deberán tener 65 mm (2 1/2-in.) Roscas externas de acuerdo con la norma NFPA 1963, Norma para conexiones de mangueras contra incendios, y la autoridad competente.

9.4.5 Conexiones de manguera deberán estar equipados con tapas a rosca de manguera proteger.

9.5 Bombas de incendio. Bombas contra incendios deberán ser instalados de acuerdo con NFPA 20, Norma para la instalación de bombas estacionarias para la Protección contra Incendios.

9.6 Señales de identificación.

9.6.1 Señalización de identificación para los sistemas de tuberías verticales y componentes deberán ser aprobados por y desarrollado con la colaboración de la autoridad competente.

9.6.2 Señalización de identificación deberá, como mínimo, identificar el nombre y los límites de la calzada que se sirve.

9.6.3 Señalización de identificación figurará con caracteres visibles y se colocará en o inmediatamente adyacente a los bomberos con conexiones y cada conexión de manguera de carretera.