

**LIBRO:** PRY. PROYECTO  
**TEMA:** CAR. Carreteras  
**PARTE:** 10. PROYECTO DE SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD EN CARRETERAS Y VIALIDADES URBANAS  
**TÍTULO:** 06. Iluminación  
**CAPÍTULO:** 003. Iluminación de Túneles

## **A. CONTENIDO**

Esta Norma contiene los criterios para la ejecución de los proyectos de iluminación de túneles, que realice la Secretaría con recursos propios o mediante un Contratista de Servicios.

## **B. DEFINICIONES**

### **B.1. ÁNGULO DE OBSERVACIÓN ( $\alpha$ )**

Ángulo definido por la visual del conductor, paralela a la rasante, y la parte superior del portal del túnel. Este ángulo puede variar entre veintidós (22) y veinticinco (25) grados, dependiendo del tipo de vehículo.

### **B.2. DEPRECIACIÓN DE REFLECTANCIA DE LAS SUPERFICIES**

Pérdida de luz debida a la acumulación de suciedad en las paredes y la clave del túnel, respecto a las características de reflectancia iniciales de las paredes y la clave.

### **B.3. DISTANCIA DE ADAPTACIÓN ( $DA$ )**

Distancia entre el punto de adaptación  $PA$  y el portal del túnel.

#### B.4. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA ( $D_p$ )

Distancia de seguridad mínima necesaria para que el conductor de un vehículo que circula a la velocidad de operación sobre pavimento mojado, vea un objeto en su trayectoria y pueda parar su vehículo antes de llegar a él.

#### B.5. DISTRIBUCIÓN DE ILUMINACIÓN EN TÚNELES

La distribución de iluminación de las luminarias utilizadas en túneles se clasifica de la siguiente forma:

##### B.5.1. Distribución de iluminación simétrica

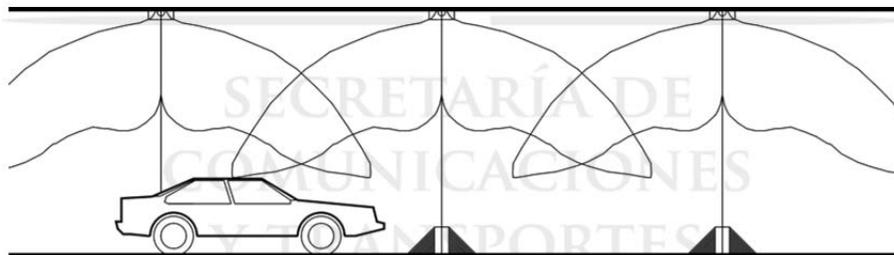
Las luminarias con una distribución simétrica emiten un patrón de distribución uniforme, pero diferente a lo largo de los ejes de la luminaria. Este tipo de iluminación a pesar de producir una iluminación uniforme, genera valores de contraste relativamente bajos.

##### B.5.1.1. Luminarias “simétrica transversal”

La mayor distribución luminosa se dirige hacia las paredes del túnel.

##### B.5.1.2. Luminarias “simétrica axial”

La mayor distribución se dirige a lo largo de la calzada, como se ilustra en la Figura 1 de esta Norma.



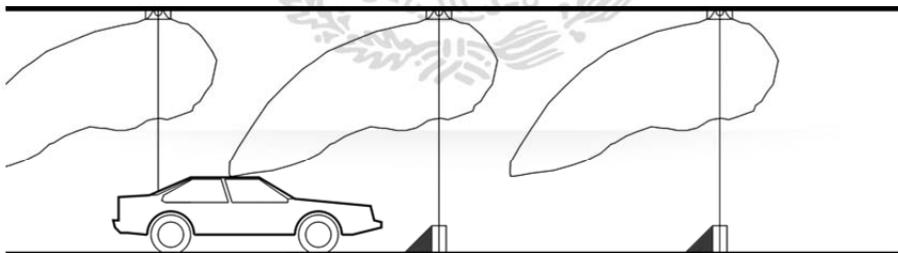
FUENTE: Recommended Practice for Tunnel Lighting, ANSI/IES RP-22-05, EUA, 2005

FIGURA 1.- Distribución de iluminación simétrica “axial”

### B.5.2. Distribución de iluminación asimétrica - contraste negativo

Este tipo de iluminación también es conocido como iluminación a contra-flujo. El flujo luminoso tiene una distribución predominante en sentido contrario a la circulación vehicular, por lo que se requiere controlar el deslumbramiento hacia el conductor. La Figura 2 de esta Norma muestra un ejemplo de este tipo de distribución luminosa.

El patrón producido por esta iluminación genera un contraste negativo, es decir, los objetos parecen más oscuros que el entorno, debido a que produce una mayor luminancia en el pavimento.



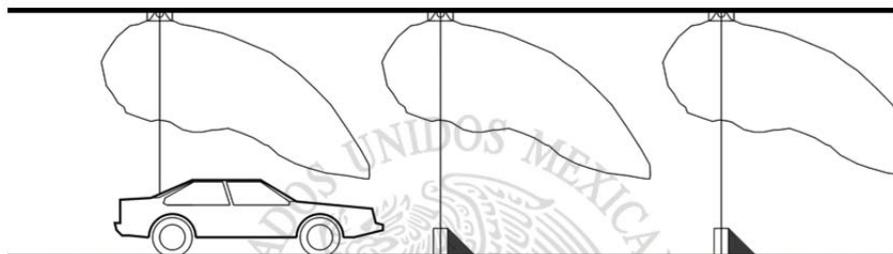
FUENTE: Recommended Practice for Tunnel Lighting. ANSI/IES RP-22-05, EUA, 2005

FIGURA 2.- Distribución de iluminación asimétrica - contraste negativo

### B.5.3. Distribución de iluminación asimétrica - contraste positivo

Este tipo de distribución luminosa es similar al del Inciso anterior, solamente que la dirección del flujo luminoso es a favor del sentido de circulación vehicular, tal y como se muestra en la Figura 3 de esta Norma.

El patrón producido por esta iluminación genera un contraste positivo, es decir, los objetos parecen más iluminados que el entorno, debido a que produce una menor luminancia en el pavimento.



FUENTE: Recommended Practice for Tunnel Lighting. ANSI/IES RP-22-05, EUA, 2005

FIGURA 3.- Distribución de iluminación asimétrica - contraste positivo

### B.6. EFECTO DE PARPADEO

La sensación de parpadeo, también conocida como *Efecto Flicker*, se hace presente cuando se conduce a través de cambios periódicos espaciales en luminancia. Bajo condiciones específicas, el parpadeo puede causar en las personas malestar, náusea, dolores de cabeza, e incluso pérdida del conocimiento.

Este efecto se debe a:

- El número de cambios en luminancia por segundo (frecuencia de parpadeo),
- la duración total del efecto, y
- la relación de claro a oscuro entre cada periodo de luminancia.

Estos efectos dependen de la velocidad del vehículo, del espaciamiento entre luminarias y de las características fotométricas de las luminarias.

### B.7. PENETRACIÓN DE LUZ AMBIENTAL

Iluminación ambiental que incide en la zona de umbral del túnel, ya sea de forma natural o mediante tragaluces.

### B.8. PUNTO DE ADAPTACIÓN ( $P_A$ )

Punto en el cual la estructura del portal del túnel cubre el campo de visión del conductor. Al pasar este punto el ojo del conductor será influenciado solamente por la luminancia del interior del túnel.

**B.9. PUNTO DE INTERÉS (*Pint*)**

Punto desde el cual el conductor fija su vista en la entrada del túnel y es capaz de identificar alguna condición de peligro. Este punto se localiza a la distancia de visibilidad de parada.

**B.10. TÚNEL DIVIDIDO**

Aquél que cuenta con una barrera física a lo largo y alto del túnel, la cual separa cada sentido de circulación.

**B.11. ZONA COMPLETA DE UN TÚNEL**

Aquella zona que cumple con la longitud total del túnel de acuerdo con lo ilustrado en la Figura 4 de esta Norma.

**B.12. ZONAS DEL TÚNEL**

Las zonas de las que se compone un túnel son las que se describen a continuación, mismas que se ilustran en la Figura 4 de esta Norma.

**B.12.1. Zona de acceso**

Área en el exterior del túnel entre el punto de interés y el portal de entrada, de acuerdo con la Figura 4 de esta Norma. La longitud de esta zona es igual a la distancia de visibilidad de parada.

**B.12.2. Zona de umbral**

Área dentro del túnel entre el portal de entrada y el inicio de la zona de transición, de acuerdo con la Figura 4 de esta Norma. Su longitud será igual a la distancia de visibilidad de parada menos la distancia de adaptación. En esta zona se da la adaptación visual del conductor de los niveles de iluminación del exterior a niveles bajos en el interior del túnel.

**B.12.3. Zona de transición**

Área entre la zona de umbral y la zona interior del túnel, de acuerdo con la Figura 4 de esta Norma. Su longitud se calcula tomando la distancia recorrida por el vehículo a la velocidad de proyecto del túnel hasta un máximo de veinticinco (25) segundos.

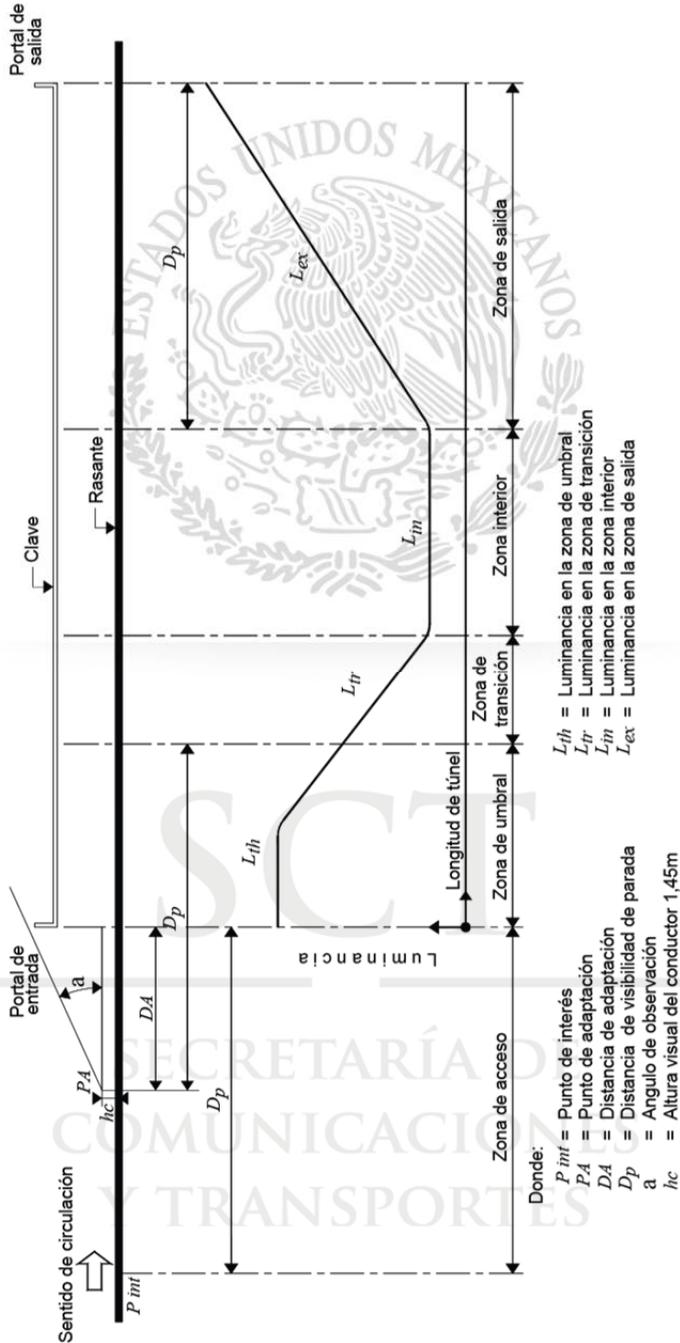


FIGURA 4.- Zona del túnel en función de su nivel de iluminación

**B.12.4. Zona interior**

Área entre la zona de transición y la zona de salida, de acuerdo con la Figura 4 de esta Norma; su longitud se define como la distancia total del túnel menos las distancias de las zonas de umbral, transición y salida.

**B.12.5. Zona de salida**

Área inmediatamente después de la zona interior y anterior a la zona exterior del túnel; su longitud es igual a la distancia de visibilidad de parada.

**C. REFERENCIAS**

Esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Ejecución de Estudios, Proyectos, Consultorías y Asesorías .....	N·LEG·2
Ejecución de Proyectos de Iluminación para Carreteras y Vialidades Urbanas .....	N·PRY·CAR·10·06·001
Criterios Generales para el Diseño de Iluminación .....	N·PRY·CAR·10·06·002
Presentación del Proyecto de Iluminación.....	N·PRY·CAR·10·06·007
Iluminación de Túneles .....	M·PRY·CAR·10·06·003
Iluminación de Carreteras.....	M·PRY·CAR·10·06·004

**D. REQUISITOS PARA LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE ILUMINACIÓN EN TÚNELES**

Además de lo establecido en la Cláusula D. de la Norma N·PRY·CAR·10·06·001, *Ejecución de Proyectos de Iluminación para Carreteras y Vialidades Urbanas*, se requiere contar con lo siguiente:

- D.1.** El tipo de túnel, urbano o carretero, así como su sentido de circulación, unidireccional o bidireccional.

## PRY. PROYECTO

### CAR. CARRETERAS

N·PRY·CAR·10·06·003/14

- D.2. El tipo de escena del portal del túnel, de acuerdo con lo indicado en el Párrafo C.1.1.1. del Manual M·PRY·CAR·10·06·003, *Iluminación de Túneles*.
- D.3. El proyecto geométrico del túnel, dimensiones, longitud total, altura del portal, secciones transversales, cortes, pendientes y orientación de sus portales.
- D.4. El proyecto de instalaciones, como la ventilación artificial, y de señalamiento, que puedan interferir con el proyecto de iluminación.
- D.5. La definición del acabado de las paredes y la clave del túnel.
- D.6. La velocidad de proyecto del túnel y el tránsito diario promedio anual (*TDPA*) de la carretera a la que dará servicio el túnel.

## E. EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE ILUMINACIÓN DE TÚNELES

Además de lo establecido en la Cláusula D. de la Norma N·LEG·2, *Ejecución de Estudios, Proyectos, Consultorías y Asesorías* y una vez que se cuente con la información a que se refiere la Cláusula anterior, el Ingeniero o Contratista de Servicios encargado del diseño de iluminación del túnel, realizará las siguientes actividades:

### E.1. DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE LUMINANCIA

E.1.1. Determinar la distancia de visibilidad de parada ( $D_p$ ) de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1 de esta Norma, en función de la velocidad de proyecto del túnel y de su pendiente longitudinal.

E.1.1.1. Si la longitud total del túnel es menor que la distancia de visibilidad de parada ( $D_p$ ), no será necesario identificar las distintas zonas del túnel y éste se iluminará en toda su longitud de acuerdo con el nivel de luminancia de la zona de umbral que corresponda según la Fracción C.1. del Manual M·PRY·CAR·10·06·003, *Iluminación de Túneles*.

**E.1.1.2.** Si la longitud total del túnel es mayor a la distancia de visibilidad de parada ( $D_p$ ), determinar los niveles de luminancia y longitudes para cada zona del túnel, de acuerdo con lo indicado en el Inciso siguiente.

**TABLA 1.- Distancia de visibilidad de parada ( $D_p$ )<sup>[1]</sup>**

Unidades en m

Velocidad de proyecto km/h	Distancia de visibilidad de parada						
	Tipo de pendiente						
	Ninguna	Negativa			Positiva		
	0°	3°	6°	9°	3°	6°	9°
20	20	20	20	20	19	18	18
30	35	32	35	35	31	30	29
40	50	50	50	53	45	44	43
50	65	66	70	74	61	59	58
60	85	87	92	97	80	77	75
70	105	110	116	124	100	97	93
80	130	136	144	154	123	118	114
90	160	164	174	187	148	141	136
100	185	194	207	223	174	167	160
110	220	227	243	262	203	194	186
120	250	263	281	304	234	223	214
130	285	302	323	350	267	254	243

[1] Fuente: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, publicado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 5a Edición, EUA, 2004.

**E.1.2. Niveles de luminancia para iluminación diurna**

Los niveles de luminancia y longitud de cada zona del túnel, de acuerdo con lo mostrado en la Figura 4 de esta Norma, se determinarán conforme a lo establecido en el Manual M·PRY·CAR·10·06·003, *Iluminación de Túneles*.

En el caso de túneles bidireccionales, el diseño de iluminación se realizará en forma independiente para cada sentido de circulación.

### E.1.3. Niveles de luminancia para iluminación nocturna

A menos de que el Ingeniero o Contratista de Servicios encargado del diseño de iluminación del túnel indiquen otra cosa, para la condición nocturna se mantendrá un nivel mínimo promedio de luminancia en la longitud total del túnel de dos coma cinco (2,5) candelas por metro cuadrado, si el túnel es unidireccional o si es bidireccional y tiene una barrera física que separe cada sentido de circulación (túnel dividido). Sin embargo, si el túnel es bidireccional y no está dividido, el nivel de iluminación permanecerá con el nivel de la zona interior  $L_{in}$ , utilizado para iluminación diurna, determinado conforme a lo establecido en el Inciso C.1.2. del Manual M·PRY·CAR·10·06·003, *Iluminación de Túneles*.

### E.1.4. Relaciones fotométricas

Las relaciones fotométricas recomendadas para todas las secciones del túnel, tanto para iluminación diurna como nocturna, se indican en la Tabla 2 de esta Norma.

**TABLA 2.- Relaciones fotométricas recomendadas para las secciones del túnel <sup>[1]</sup>**

Relaciones de uniformidad longitudinal $L_{prom} / L_{mín}$	Relaciones de uniformidad global $L_{máx} / L_{mín}$	Relaciones de luminancia de velo <sup>[2]</sup> $L_{Vmáx} / L_{prom}$
2 : 1	3,5 : 1	< 0,3

[1] Donde  $L_{prom}$  significa luminancia promedio;  $L_{mín}$  luminancia mínima;  $L_{máx}$  luminancia máxima y  $L_{Vmáx}$  luminancia de velo máxima.

[2] La relación de luminancia de velo recomendada se aplicará solo para la zona interior del túnel para iluminación diurna o en zonas de luminancia constante de ochenta y tres (83) metros o más para iluminación nocturna.

## E.2. DISEÑO DE ILUMINACIÓN

Una vez calculados los niveles de luminancia, el Ingeniero o Contratista de Servicios realizará el diseño de iluminación, para cada zona del túnel, tal y como lo establece la Cláusula D. del Manual M·PRY·CAR·10·06·004, *Iluminación de Carreteras*,

cumpliendo con las relaciones de uniformidad que se indican en el Inciso E.1.4. de esta Norma.

- E.3.** Presentar el proyecto de iluminación de túneles como se indica en la Norma N·PRY·CAR·10·06·007, *Presentación del Proyecto de Iluminación*.

## **F. CRITERIOS PARTICULARES PARA EL DISEÑO DE ILUMINACIÓN**

- F.1.** El Ingeniero o Contratista de Servicios considerará las características del túnel, tanto del pavimento como de las paredes y clave, para seleccionar el tipo de distribución de iluminación más adecuada, de acuerdo con lo indicado en la Fracción B.5. de esta Norma. Se recomienda utilizar una distribución de iluminación asimétrica - contraste negativo, ya que proporcionará altas luminancias de la superficie de rodadura y minimizará la luminancia en la dirección del tránsito con lo cual se crean luminancias bajas de los objetos.

- F.2.** Para iluminación de túneles se procurará que las superficies de las paredes tengan reflectancias altas. Es recomendable que las superficies de estas paredes sean de fácil mantenimiento, que reflejen la luz en forma difusa (no especulares) y que tengan una reflectancia inicial de por lo menos cincuenta (50) por ciento, como los recubrimientos de pintura epóxica.

En la Tabla 3 de esta Norma se muestran los porcentajes de reflectancia de algunos acabados de superficies.

- F.3.** Las zonas exteriores de un túnel tales como las vialidades de entrada y salida serán iluminadas con un nivel de luminancia no menor a un tercio ( $\frac{1}{3}$ ) del nivel de iluminación nocturna del túnel, determinada conforme a lo señalado en el Inciso E.1.3. de esta Norma, en una longitud seleccionada de acuerdo con lo establecido en la Tabla 4 de esta Norma, según el tipo de vialidad en la que se localice el túnel.

- F.4.** El diseño del sistema de iluminación de emergencia podrá realizarse utilizando las luminarias del sistema normal de iluminación o luminarias de emergencia para túneles, a criterio del Ingeniero o Contratista de Servicios. Se recomienda que se instale una fuente de alimentación de emergencia no interrumpible la cual

proporcionará por lo menos el nivel de iluminación nocturno a todo lo largo del túnel de dos coma cinco (2,5) candelas por metro cuadrado.

**TABLA 3.- Reflectancia según el acabado en las paredes**

Tipo de acabado de la superficie en las paredes	Porcentaje de reflectancia aproximado
Roca natural, sin tratar	7
Concreto hidráulico, sin tratar	10 al 30
Recubrimientos de pintura epóxica	50
Mosaico vidriado	45 al 60

**TABLA 4.- Longitud de la zona exterior de un túnel por iluminar**

Carretera o vialidad urbana en donde se localiza el túnel	Longitud de la zona exterior a iluminar
Iluminada	1 $D_p$ <sup>[1]</sup>
No iluminada	2 $D_p$ <sup>[1]</sup>

[1]  $D_p$  es la distancia de visibilidad de parada determinada conforme a lo establecido en el Inciso E.1.1. de esta Norma.

**F.5.** Con el fin de asegurar un buen desempeño a lo largo de la vida útil del sistema de iluminación de un túnel, se presentará un plan de mantenimiento preventivo como parte integral del proyecto de iluminación de túneles que especifique al menos:

- Instrucciones para generar y operar una bitácora de mantenimiento, especificando los datos e información que contendrá,
- aspectos a inspeccionar del sistema de iluminación del túnel,
- la frecuencia con que se realizará cada etapa de la inspección y mantenimiento,

- el manual que establezca los procedimientos para realizar la limpieza de las luminarias y equipos, así como el personal, equipo y materiales a emplear, y
- dado que la limpieza de las paredes y demás superficies que componen el túnel puede requerir el uso de solventes químicos, agua a presión y equipos mecánicos que puedan deteriorar los diferentes componentes del sistema de iluminación, se incluirán las recomendaciones necesarias para evitar cualquier daño posible.

**F.6.** Para determinar el Factor de Pérdida de Luz Total (*LLF*) a que se refiere la Fracción B.10. de la Norma N·PRY·CAR·10·06·002, *Criterios Generales para el Diseño de Iluminación*, en la Tabla 5 de esta Norma se muestran intervalos de valores típicos para algunos factores de pérdida de luz que a criterio del Ingeniero o Contratista de Servicios pueden ser considerados en el diseño de iluminación de túneles.

**TABLA 5.- Factores de pérdida de luz**

Factores de pérdida de luz	Intervalo de Valores
Factores de Mantenimiento	
Factor de depreciación de lúmenes de la lámpara ( <i>LLD</i> )	0,50 – 0,95
Factor de depreciación por suciedad de la luminaria ( <i>LDD</i> )	0,10 – 0,95
Factor de lámparas fundidas	0,30 – 0,99
Factor por disminución de reflectancia de las superficies	0,20 – 0,90
Factores de equipo ( <i>EF</i> )	0,50 – 0,95
Factor de temperatura ambiente	0,20 – 0,99
Factor de voltaje	0,87 – 1,13

**F.7.** Con el fin de eliminar el efecto de parpadeo a que se refiere la Fracción B.6. de esta Norma, en las zonas del túnel en donde el tiempo de recorrido sea mayor de veinte (20) segundos, se evitarán frecuencias que se encuentre entre cuatro (4) y once (11) hertz.

La frecuencia de parpadeo se determinará mediante la siguiente expresión:

$$F_p = \frac{v}{e}$$

Donde:

$F_p$  = Frecuencia de parpadeo, (Hz)

$v$  = Velocidad de proyecto, (m/s)

$e$  = Espaciamiento que existe de centro a centro de las luminarias en sentido longitudinal, (m)

En general, el efecto de parpadeo es despreciable al ojo humano en frecuencias por debajo de dos coma cinco (2,5) hertz y por encima de quince (15) hertz.

## G. BIBLIOGRAFÍA

Illuminating Engineering Society of North America, *The IESNA Lighting Handbook Reference & Application*, Ninth Edition, 2000.

American National Standard Institute, *Recommended Practice for Tunnel Lighting*, ANSI/IES RP-22-11, 2011.

International Commission on Illumination, *CIE Technical Report 88:2004, Guide for the lighting of road tunnels and underpasses*, Second Edition, 2004.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 5a Edición, EUA, 2004.

SECRETARÍA DE  
COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES