

**Resolución No.13 098**  
**Edición Especial del Registro Oficial No. 59 (17 de octubre de 2013)**

**MINISTERIO DE INDUSTRIAS Y PRODUCTIVIDAD**

**SUBSECRETARÍA DE LA CALIDAD**

**CONSIDERANDO:**

Que de conformidad con lo dispuesto en el Artículo 52 de la Constitución de la República del Ecuador, "Las personas tienen derecho a disponer de bienes y servicios de óptima calidad y a elegirlos con libertad, así como a una información precisa y no engañosa sobre su contenido y características";

Que el Protocolo de Adhesión de la República del Ecuador al Acuerdo por el que se establece la Organización Mundial del Comercio – OMC, se publicó en el Suplemento del Registro Oficial No. 853 del 2 de enero de 1996;

Que el Acuerdo de Obstáculos Técnicos al Comercio - AOTC de la OMC, en su Artículo 2 establece las disposiciones sobre la elaboración, adopción y aplicación de Reglamentos Técnicos por instituciones del gobierno central y su notificación a los demás Miembros;

Que se deben tomar en cuenta las Decisiones y Recomendaciones adoptadas por el Comité de Obstáculos Técnicos al Comercio de la OMC;

Que el Anexo 3 del Acuerdo OTC, establece el Código de Buena Conducta para la elaboración, adopción y aplicación de normas;

Que la Decisión 376 de 1995 de la Comisión de la Comunidad Andina creó el "Sistema Andino de Normalización, Acreditación, Ensayos, Certificación, Reglamentos Técnicos y Metrología", modificado por la Decisión 419 del 30 de julio de 1997;

Que la Decisión 562 de 25 de junio de 2003 de la Comisión de la Comunidad Andina establece las "Directrices para la elaboración, adopción y aplicación de Reglamentos Técnicos en los Países Miembros de la Comunidad Andina y a nivel comunitario";

Que mediante Ley No. 2007-76, publicada en el Suplemento del Registro Oficial No. 26 del 22 de febrero de 2007, reformada en la Novena Disposición Reformatoria del Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones, publicado en el Registro Oficial Suplemento No.351 de 29 de diciembre de 2010, constituye el Sistema Ecuatoriano de la Calidad, que tiene como objetivo establecer el marco jurídico destinado a: "i) Regular los principios, políticas y entidades relacionados con las actividades vinculadas con la evaluación de la conformidad, que facilite el cumplimiento de los compromisos internacionales en esta materia; ii) Garantizar el cumplimiento de los derechos ciudadanos relacionados con la seguridad, la protección de la vida y la salud humana, animal y vegetal, la preservación del medio ambiente, la protección del consumidor contra prácticas engañosas y la corrección y sanción de estas prácticas; y, iii) Promover e incentivar la cultura de la calidad y el mejoramiento de la competitividad en la sociedad ecuatoriana";

Que el Instituto Ecuatoriano de Normalización - INEN, de acuerdo a las funciones determinadas en el Artículo 15, literal b) de la Ley No. 2007-76 del Sistema Ecuatoriano de la Calidad, reformada en la Novena Disposición Reformatoria del Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones publicado en el Registro Oficial Suplemento No. 351 de 29 de diciembre de 2010, y siguiendo el trámite reglamentario establecido en el Artículo 29 de la misma Ley, ha formulado el Reglamento Técnico Ecuatoriano **RTE INEN 069 "ALUMBRADO PÚBLICO"**;

Que mediante Acuerdo Ministerial No. 147 del 17 de febrero de 1987, publicado en el Registro Oficial No. 641 del 11 de marzo de 1987, se oficializó con carácter de Obligatorio las 2 Partes del Código de Práctica para Alumbrado Público **CPE INEN 14 "Alumbrado público"**;

Que en conformidad con el Artículo 2, numeral 2.9.2 del Acuerdo de Obstáculos Técnicos al Comercio de la OMC y el Artículo 11 de la Decisión 562 de la Comisión de la Comunidad Andina, CAN, este Proyecto de Reglamento Técnico fue notificado a la OMC el **2012-11-20** y a la CAN el **2012-11-12**, a través del Punto de Contacto y a la fecha se han cumplido los plazos preestablecidos para este efecto y no se han recibido observaciones;

Que mediante Informe Técnico-Jurídico contenido en la Matriz de Revisión No. de fecha de , se sugirió proceder a la aprobación y oficialización del reglamento materia de esta resolución, el cual recomienda aprobar y oficializar con el carácter de OBLIGATORIO el **REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO”**;

Que de conformidad con la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad y su Reglamento General, el Ministerio de Industrias y Productividad, es la institución rectora del Sistema Ecuatoriano de la Calidad, en consecuencia, es competente para aprobar y oficializar con el carácter de **OBLIGATORIO**, el **REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO”**; mediante su promulgación en el Registro Oficial, a fin de que exista un justo equilibrio de intereses entre proveedores y consumidores;

Que mediante Acuerdo Ministerial No. 11 446 del 25 de noviembre de 2011, publicado en el Registro Oficial No. 599 del 19 de noviembre de 2011, la Ministra de Industrias y Productividad delega a la Subsecretaria de la Calidad la facultad de aprobar y oficializar las propuestas de normas o reglamentos técnicos y procedimientos de evaluación de la conformidad propuestos por el INEN en el ámbito de su competencia de conformidad con lo previsto en la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad y en su Reglamento General; y,

En ejercicio de las facultades que le concede la Ley,

## **RESUELVE:**

**ARTÍCULO 1.-** Aprobar y oficializar con el carácter de OBLIGATORIO el siguiente:

### **REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO”**

#### **1. OBJETO**

**1.1** El presente Reglamento Técnico Ecuatoriano tiene por objeto establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación pública, garantizando niveles y calidad de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos originados por la instalación y uso de sistemas de iluminación. Incluyendo criterios de eficiencia energética.

#### **2. CAMPO DE APLICACIÓN**

**2.1** El presente Reglamento Técnico Ecuatoriano aplica a las instalaciones de alumbrado público, a los materiales y equipos utilizados en ellas y a las personas que intervienen.

#### **3. DEFINICIONES**

**3.1** Para los efectos de este Reglamento Técnico Ecuatoriano se adoptan las siguientes definiciones:

**3.1.1** *Relativas al alumbrado público*

**3.1.1.1 Absorción.** Término general para referirse al proceso mediante el cual un flujo luminoso incidente se convierte en otra forma de energía, general y fundamentalmente en calor.

**3.1.1.2 Acomodación.** Proceso mediante el cual el ojo cambia su distancia focal al mirar objetos colocados a diferentes distancias.

**3.1.1.3 Adaptación.** Proceso mediante el cual el sistema visual se adapta a mayor o menor cantidad de luz o a la luz de un color, diferente al que estaba expuesto durante el periodo inmediatamente anterior. La adaptación resulta en un cambio en la sensibilidad del ojo a la luz.

**3.1.1.4 Alcance.** Característica de una luminaria que indica la extensión que alcanza la luz en la dirección longitudinal del camino.

**3.1.1.5 Altura de montaje (en una vía).** Distancia vertical entre la superficie de la vía por iluminar y el centro óptico de la fuente de luz de la luminaria.

**3.1.1.6 Ángulo de apantallamiento de una luminaria.** Ángulo vertical medido desde el nadir, entre el eje vertical y la primera línea de visión para el cual la fuente de la luz desnuda no es visible.

**3.1.1.7 Arrancador.** Dispositivo que por sí solo o en asocio con otros componentes, genera pulsos para encender lámparas de descarga sin precalentamiento.

**3.1.1.8 Balasto.** Unidad insertada en la red y una o más lámparas de descarga, la cual, por medio de inductancia o capacitancia o la combinación de inductancias y capacitancias, sirve para limitar la corriente de la(s) lámpara(s) hasta el valor requerido. El balasto puede constar de uno o más componentes. Puede incluir, también medios para transformar la tensión de alimentación y arreglos que ayuden a proveer la tensión de arranque, prevenir el arranque en frío, reducir el efecto estroboscópico, corregir el factor de potencia y/o suprimir la radio interferencia.

**3.1.1.9 Lámpara o lámpara.** Término genérico para denominar una fuente de luz fabricada por el hombre. Por extensión, el término también es usado para denotar fuentes que emiten radiación en regiones del espectro adyacentes a la zona visible. Puede asimilarse a la definición de lámpara.

**3.1.1.10 Campo visual.** Lugar geométrico de todos los objetos o puntos en el espacio que pueden ser percibidos cuando la cabeza y los ojos de un observador se mantienen fijos. El campo puede ser monocular o binocular.

**3.1.1.11 Candela (cd).** Unidad del Sistema Internacional (SI) de intensidad luminosa. Una candela es igual a un lumen por estereorradián. Una candela se define como la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de una frecuencia de  $540 \times 10^{12}$  Hz y en la cual la intensidad radiante en esa dirección es  $1/683$  W por estereorradián.

**3.1.1.12 Candela por metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>).** Unidad de luminancia.

**3.1.1.13 Capacidad visual.** Es la propiedad fisiológica del ojo humano para enfocar a los objetos a diferentes distancias, variando el espesor y por tanto la longitud focal del cristalino, por medio del músculo ciliar.

**3.1.1.14 Centro óptico de la lámpara.** Centro de una pequeña esfera que podría contener completamente el elemento emisor de la lámpara.

**3.1.1.15 Coeficiente de transmisión luminosa (T).** Porcentaje de luz natural en su espectro visible que deja pasar una superficie traslucida o transparente. Se expresa en %.

**3.1.1.16 Coeficiente de Utilización (CU ó K).** Relación entre el flujo luminoso que llega a la superficie a iluminar (flujo útil) y el flujo total emitido por una luminaria. Usualmente, se aplica este término cuando se refiere a luminarias de alumbrado público. También se conoce como factor de utilización de la luminaria.

**3.1.1.17** *Conjunto eléctrico para una lámpara de descarga.* Todos los componentes necesarios para el funcionamiento adecuado de una lámpara de descarga (balasto, condensador, arrancador, portalámparas, borneras de conexión, cables, fusible, portafusibles y relés de conmutación).

**3.1.1.18** *Conjunto óptico.* Elementos necesarios para controlar y dirigir la luz producida por una o varias lámparas (refractor y/o reflector).

**3.1.1.19** *Contaminación lumínica.* Se define como la propagación de luz artificial hacia el cielo nocturno.

**3.1.1.20** *Contraste de luminancia.* Relación entre la luminancia de un objeto y su fondo inmediato, igual a  $(L_o - L_f)/L_f$ , ó  $\Delta L/L_f$ , donde  $L_f$  y  $L_o$  son las luminancias del fondo y el objeto, respectivamente. Se debe especificar la forma de la ecuación. La relación  $\Delta L/L_f$  se conoce como la fracción de Weber.

**3.1.1.21** *Coeficiente de eficiencia energética (EER).* Relación entre la potencia instalada por unidad de área y la luminancia en dicha área,  $EER = (W/m^2 / (cd/m^2))$ .

Donde:

P = Potencia total  
S = Superficie a iluminar ( $m^2$ )  
L = Luminancia ( $cd/m^2$ )

**3.1.1.22** *Cromaticidad de un color.* Longitud de onda dominante o complementaria y de los aspectos de pureza de un color tomados como un conjunto.

**3.1.1.23** *Cuerpo negro.* Radiador de temperatura uniforme, cuya exitancia radiante en todas las partes del espectro es el máximo obtenible de cualquier radiador a la misma temperatura. A este radiador se le llama cuerpo negro por que absorberá toda la energía radiante que caiga sobre él.

**3.1.1.24** *Curva Isolux.* Línea que une todos los puntos que tengan la misma iluminancia en el plano horizontal, para una altura de montaje de 1 m y un flujo luminoso de 1 000 lm.

**3.1.1.25** *Densidad de flujo luminoso.* Cociente del flujo luminoso por el área de la superficie cuando ésta última está iluminada de manera uniforme.

**3.1.1.26** *Densidad de flujo radiante en una superficie.* Relación entre el flujo radiante de un elemento de superficie y el área del elemento ( $W/m^2$ ).

**3.1.1.27** *Depreciación lumínica.* Disminución gradual de emisión luminosa durante el transcurso de la vida útil de una fuente luminosa.

**3.1.1.28** *Deslumbramiento.* Sensación producida por la luminancia dentro del campo visual que es suficientemente mayor que la luminancia a la cual los ojos están adaptados y que es causa de molestias e incomodidad o pérdida de la capacidad visual y de la visibilidad (ver nota 1).

**3.1.1.29** *Diagrama polar.* Gráfica que representa en coordenadas polares la distribución de las intensidades luminosas en planos definidos. Generalmente se representan los planos  $C = 0^\circ - 180^\circ$ ,  $C = 90^\circ - 270^\circ$  y plano de intensidad máxima.

**3.1.1.30** *Difusor.* Elemento que sirve para dirigir o esparcir la luz de una fuente, principalmente por el proceso de transmisión difusa.

**3.1.1.31** *Dispersión.* Separación ordenada de la luz incidente en su espectro de las longitudes de onda que la componen, cuando pasa a través de un medio.



**3.1.1.32 Efecto estroboscópico.** Ilusión óptica que ocasiona que un objeto iluminado por una lámpara de descarga sea visible a intervalos, dando la impresión de aparente inmovilidad. Este efecto ocurre cuando la velocidad a la que se mueve el objeto es múltiplo de los destellos periódicos de las lámparas.

**3.1.1.33 Eficacia luminosa de una fuente.** Relación entre el flujo luminoso total emitido por una fuente luminosa (lámpara) y la potencia de la misma. La eficacia de una fuente se expresa en lúmenes/vatio ( $lm/W$ ) (ver nota 2).

**3.1.1.34 Eficiencia de una luminaria.** Relación de flujo luminoso, en lúmenes, emitido por una luminaria y el emitido por la lámpara o lámparas usadas en su interior.

**3.1.1.35 Energía radiante (Q).** Energía que se propaga en forma de ondas electromagnéticas. Se mide en unidades de energía tales como joules, ergios o kW-h.

NOTA 1. La magnitud de la sensación del deslumbramiento depende de factores como el tamaño, la posición y la luminancia de la fuente, el número de fuentes y la luminancia a la que los ojos están adaptados.

NOTA 2. El término eficiencia luminosa se usó ampliamente en el pasado para denominar este concepto.

**3.1.1.36 Espectro electromagnético visible.** Franja del espectro electromagnético comprendida entre longitudes de onda de aproximadamente 380 nm a 770 nm. Las longitudes de onda inferiores a 380 nm corresponden a los ultravioleta, y las superiores a los 770 nm, a los infrarrojos.

**3.1.1.37 Exitancia radiante (M).** Densidad de flujo radiante emitido por una superficie. Se expresa en vatios por unidad de área de la superficie.

**3.1.1.38 Factor de absorción.** Relación entre el flujo luminoso absorbido por un medio y el flujo incidente.

**3.1.1.39 Factor de Balasto.** Se define como la relación entre el flujo luminoso de la lámpara funcionando con el balasto de producción y el flujo luminoso de la misma lámpara funcionando con el balasto de referencia.

**3.1.1.40 Factor de mantenimiento ( $F_M$ ).** Factor usado en el cálculo de la luminancia e iluminancia después de un periodo dado y en circunstancias establecidas. Tiene en cuenta la hermeticidad de la luminaria, la depreciación del flujo luminoso de la lámpara, la clasificación de los niveles de contaminación del sitio y el periodo de operación (limpieza) de la luminaria.

**3.1.1.41 Factor de uniformidad de iluminancia.** Medida de la variación de la iluminancia sobre un plano dado, expresada mediante alguno de los siguientes valores:

- a) Relación entre la iluminancia mínima y la máxima.
- b) Relación entre la iluminancia mínima y la promedio.

**3.1.1.42 Factor de uniformidad general de la luminancia ( $U_o$ ).** Relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio sobre la superficie de una calzada.

a)  $U_o = L_{min}/L_{pro}$  en [%]. Es una medida del comportamiento visual que no puede ser inferior a 40% para  $L$  comprendido entre el rango de 1  $cd/m_2$  a 3  $cd/m_2$ , con el fin de que un objeto sea perceptible el 75% de los casos en un tiempo no mayor a 0,1 s.

**3.1.1.43 Factor de uniformidad longitudinal de luminancia ( $U_L$ ).** La menor medida de la relación  $L_{min}/L_{máx}$  sobre un eje longitudinal paralelo al eje de la vía que pasa por la posición del observador y situado en el centro de cada uno de los carriles de circulación.



**3.1.1.44 Factor de utilización de la luminaria ( $k$ ).** Relación entre el flujo luminoso que llega a la calzada (flujo útil) y el flujo total emitido por la luminaria. Usualmente se aplica este término cuando se refiere a luminarias de alumbrado público. También se conoce como Coeficiente de Utilización (CU).

**3.1.1.45 Foto control.** Dispositivo utilizado, normalmente, para conectar y desconectar en forma automática luminarias de alumbrado público en función de la variación del nivel luminoso. Los foto controles usados comúnmente son del tipo electromagnético y/o electrónico.

**3.1.1.46 Fusible.** Dispositivo utilizado para la protección de conductores y componentes de redes contra sobre corrientes producidas tanto por sobrecarga como por cortocircuito.

**3.1.1.47 Flujo Hemisférico Superior (FHS).** Se define como el flujo luminoso emitido por el equipo de iluminación (luminaria y lámpara) por encima del plano horizontal. Dicho plano corresponde al ángulo  $\gamma = 90^\circ$  en el sistema de representación (C,  $\gamma$ ). El flujo hemisférico se expresa como un porcentaje del flujo total emitido por la luminaria.

**3.1.1.48 Flujo luminoso ( $\Phi$ ).** Cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo. Su unidad es el lumen (lm).

**3.1.1.49 Flujo luminoso nominal.** Flujo luminoso medido a las 100 h de funcionamiento de la lámpara, en condiciones de utilización normales. Se aplica solo a lámparas de alta intensidad de descarga.

**3.1.1.50 Flujo útil.** Flujo luminoso recibido sobre la superficie bajo consideración.

**3.1.1.51 Fotómetro.** Instrumento para medir las cantidades fotométricas, tales como luminancia, intensidad luminosa, flujo luminoso e iluminancia.

**3.1.1.52 Fotometría.** Medición de cantidades asociadas con la luz (ver nota 3).

**3.1.1.53 Fuente luminosa.** Dispositivo que emite energía radiante capaz de excitar la retina y producir una sensación visual.

**3.1.1.54 Iluminancia ( $E$ ).** Densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. La unidad de iluminancia es el lux (lx).

**3.1.1.55 Iluminancia inicial ( $E_{inicial}$ ).** Iluminancia promedio cuando la instalación es nueva.

**3.1.1.56 Iluminancia promedio horizontal mantenida ( $E_{prom}$ ).** Valor por debajo del cual no debe descender la iluminancia promedio en el área especificada. Es la iluminancia promedio en el período en el que debe ser realizado el mantenimiento. También se le conoce como Iluminancia media mantenida

**3.1.1.57 Iluminación.** Acción o efecto de iluminar.

**3.1.1.58 Iluminancia semiesférica (ver nota 4).**

**3.1.1.59 Índice de reproducción cromática (IRC).** Las propiedades de una fuente de luz, a los efectos de la reproducción de los colores, se valorizan mediante el "Índice de Reproducción Cromática" (IRC) ó CRI ("Color Rendering Index"). Este factor se determina comparando el aspecto cromático que presentan los objetos iluminados por una fuente dada con el que presentan iluminados por una "luz de referencia". Los espectros de las lámparas incandescentes o de la luz del día contienen todas las radiaciones del espectro visible y se los considera óptimos en cuanto a la reproducción cromática; se dice que tienen un IRC= 100.

**3.1.1.60 Índice de rendimiento de color ( $R_a$ ).** Efecto de una fuente de luz sobre el aspecto cromático de los objetos que ilumina por comparación con su aspecto bajo una fuente de luz de referencia. La forma en que la luz de una lámpara reproduce los colores de los objetos iluminados se denomina

índice de rendimiento de color (Ra). El color que presenta un objeto depende de la distribución de la energía espectral de la luz con que está iluminado y de las características reflexivas selectivas de dicho objeto.

**3.1.1.61 Intensidad luminosa de una fuente puntal de luz en una dirección dada (I).** Cantidad de flujo luminoso en cada unidad de ángulo sólido en la dirección en cuestión. Por lo tanto, es el flujo luminoso sobre una pequeña superficie centrada y normal en esa dirección, dividido por el ángulo sólido (en estereorradianes) el cual es subtendido por la superficie en la fuente I. La intensidad luminosa puede ser expresada en candelas (cd) o en lúmenes por estereorradián (lm/sr).

**3.1.1.62 Longitud de onda ( $\lambda$ ).** Distancia entre dos puntos sucesivos de una onda periódica en la dirección de propagación, en la cual la oscilación tiene la misma fase. La unidad usada comúnmente es el nanómetro (nm) ( $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$ ).

**3.1.1.63 Lumen (lm).** Unidad de medida del flujo luminoso en el Sistema Internacional (SI). Radiométricamente, se determina de la potencia radiante; fotométricamente, es el flujo luminoso emitido dentro de una unidad de ángulo sólido (un estereorradián) por una fuente puntal que tiene una intensidad luminosa uniforme de una candela.

NOTA 3. La fotometría puede ser visual cuando se usa el ojo para hacer una comparación, o física, cuando las mediciones se hacen mediante receptores físicos

NOTA 4. Este término no debe ser utilizado para referirse a la densidad de flujo luminoso en una superficie.

**3.1.1.64 Luminancia (L).** En un punto de una superficie, en una dirección, se interpreta como la relación entre la intensidad luminosa en la dirección dada producida por un elemento de la superficie que rodea el punto, con el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular en la dirección dada. La unidad de luminancia es candela por metro cuadrado. ( $\text{Cd}/\text{m}^2$ ). Bajo el concepto de intensidad luminosa, la luminancia puede expresarse como:

$$L = (dI/dA) * (1/ \cos\Phi)$$

Donde:

L = Luminancia

dI/dA = diferencial de la intensidad por unidad de área

**3.1.1.65 Luminaria.** Aparato de iluminación que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más lámparas o fuentes luminosas y que incluye todas las partes necesarias para soporte, fijación y protección de las lámparas, pero no las lámparas mismas y, donde sea necesario, los circuitos auxiliares con los medios para conectarlos a la fuente de alimentación.

**3.1.1.66 Lux (lx).** Unidad de medida de iluminancia en el Sistema Internacional (SI). Un lux es igual a un lumen por metro cuadrado ( $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm}/\text{m}^2$ ).

**3.1.1.67 Mantenimiento.** <Del flujo luminoso> Efecto de mantener o mantenerse, cuidar su permanencia. <Correctivo, preventivo> Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que las instalaciones puedan seguir funcionando adecuadamente.

**3.1.1.68 Matriz de Intensidades.** Tabla que, en función de los ángulos C y el ángulo  $\gamma$ , define los valores de intensidad luminosa que suministra la luminaria en cualquier punto a su alrededor. Los datos de intensidad luminosa se pueden dar en candelas por 1 000 lm.

**3.1.1.69 Nadir.** Punto de la esfera celeste diametralmente opuesto a la intersección de la vertical de un lugar con la esfera celeste, por encima de la cabeza del observador. Es el punto exactamente opuesto al cenit.

**3.1.1.70 Niveles mínimos de iluminación mantenidos.** Son los niveles de iluminación adecuada a la tarea que se realiza en un local o en una vía. Los ciclos de mantenimiento y limpieza se deben realizar para mantener los valores de iluminación mantenidos y tendrán que sustituirse las lámparas justo antes de alcanzar este nivel mínimo, de este modo se asegura que la tarea se pueda desarrollar según las necesidades visuales. No son niveles de diseño, cuando se realiza el proyecto de iluminación normalmente se establecen niveles de iluminación superiores, según los ciclos de mantenimiento del local o de la vía, que dependerá de la fuente de luz elegida, de las luminarias, así como de la posibilidad de ensuciamiento. Con el tiempo el valor de iluminación inicial va decayendo debido a la pérdida de flujo de la propia fuente de luz, así como de la suciedad acumulada en luminarias, paredes, techos y suelo.

**3.1.1.71 Plano de trabajo.** Es la superficie horizontal, vertical u oblicua, en la cual el trabajo es usualmente realizado, y cuyos niveles de iluminación deben ser especificados y medidos.

**3.1.1.72 Potencia nominal de una fuente luminosa.** Potencia requerida por la fuente luminosa, según indicación del fabricante, para producir el flujo luminoso nominal. Se expresa en vatios (W).

**3.1.1.73 Protector.** Parte traslúcida de una luminaria cerrada, destinada a proteger las lámparas y los reflectores de los agentes externos. Los protectores pueden ser a su vez, difusores o refractores.

**3.1.1.74 Proyector.** Aparato de iluminación que concentra la luz en un ángulo sólido limitado, con el fin de obtener un valor de intensidad luminosa elevado.

**3.1.1.75 Radiación.** Emisión o transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas

**3.1.1.76 Radiación electromagnética.** Radiación de energía asociada a un campo eléctrico y a un campo magnético variables periódicamente y que se desplazan a la velocidad de la luz.

**3.1.1.77 Radiación monocromática.** Radiación caracterizada por una sola frecuencia o longitud de onda.

**3.1.1.78 Radiación visible.** Cualquier radiación electromagnética de longitud de onda adecuada capaz de causar sensaciones visuales.

**3.1.1.79 Rendimiento visual.** Es el término usado para describir la velocidad con la que funciona el ojo, así como la precisión con la cual se puede llevar a cabo una tarea visual. El valor del rendimiento visual para la percepción de un objeto se incrementa hasta cierto nivel al incrementar la iluminancia o la luminancia del local. Otros factores que influyen sobre el rendimiento visual son el tamaño de la tarea visual y su distancia al observador, así como los contrastes de color y luminancia.

**3.1.1.80 Reflectancia de una superficie.** Relación entre el flujo radiante o luminoso reflejado y el flujo incidente sobre una superficie. Se expresa en %:

$$\rho = \frac{\phi_r}{\phi_i}$$

**3.1.1.81 Reflector.** Dispositivo usado para redirigir el flujo luminoso de una fuente mediante el proceso de reflexión.

**3.1.1.82 Reflexión.** Término general para el proceso mediante el cual el flujo incidente deja una superficie o medio desde el lado incidente sin cambios en la frecuencia.

**3.1.1.83 Reflexión difusa.** Proceso por el cual el flujo incidente es redirigido sobre un rango de ángulos.



**3.1.1.84 Reflexión especular (regular).** Proceso mediante el cual el rayo incidente es redirigido con el ángulo especular. El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal están en el mismo plano (ver nota 5).

**3.1.1.85 Refracción.** Proceso mediante el cual la dirección de un rayo de luz cambia conforme pasa oblicuamente de un medio a otro en el que su velocidad es diferente.

**3.1.1.86 Refractor.** Dispositivo utilizado para redirigir el flujo luminoso de una fuente, primordialmente por el proceso de refracción.

**3.1.1.87 Sensibilidad al contraste.** La más pequeña diferencia de luminancia que se puede percibir. También llamado umbral diferencial de luminancia.

**3.1.1.88 Tarea visual.** Actividad que debe desarrollarse con determinado nivel de iluminación

**3.1.1.89 Transmisión (de la luz).** Término genérico usado para referirse al proceso mediante el cual el flujo incidente abandona una superficie o un medio por un lado diferente al del lado incidente, sin experimentar cambio de frecuencia.

**3.1.1.90 Transmisión regular.** Proceso por el cual el flujo incidente pasa a través de una superficie o medio, sin dispersarse.

**3.1.1.91 Transmisión difusa.** Proceso por el cual el flujo incidente que pasa a través de una superficie o medio se dispersa.

---

NOTA 5. El ángulo especular es el ángulo entre la perpendicular a la superficie y el rayo reflejado. Es numéricamente igual al ángulo de incidencia que se localiza en el mismo plano del rayo incidente y de la perpendicular, pero que se ubica en el lado opuesto de la perpendicular a la superficie.

**3.1.1.92 Temperatura de color (de una fuente luminosa).** Temperatura absoluta de un cuerpo negro radiador que tiene una cromaticidad igual a la de la fuente de luz. Se mide en grados Kelvin (K).

**3.1.1.93 Umbral de contraste.** Mínimo contraste perceptible para un estado dado de adaptación del ojo. También se define como el contraste de luminancia detectable, durante alguna fracción específica de tiempo, que se presenta a un observador.

**3.1.1.94 Valor de eficiencia energética de la instalación VEII.** Valor que mide la eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona de actividad diferenciada, cuya unidad de medida es (W/m<sup>2</sup>) por cada 100 luxes.

**3.1.1.95 Vida promedio (de un lote de fuentes luminosas).** Promedio de tiempo transcurrido, expresado en horas, de funcionamiento de un lote de fuentes luminosas, antes de que haya dejado de funcionar la mitad de dicho lote.

**3.1.1.96 Vida física (de una fuente luminosa).** Promedio de tiempo transcurrido, expresado en horas, antes de que la fuente luminosa deje de funcionar completa y definitivamente, por haberse dañado cualquiera de sus componentes, sin que hayan interferido influencias externas.

**3.1.1.97 Vida económica (de una fuente luminosa).** Período de tiempo transcurrido, expresado en horas, hasta cuando la relación entre el costo de reposición de la fuente luminosa y el costo de los lumen – hora que sigue produciendo ya no es económicamente favorable. La vida económica depende, por consiguiente, del costo de las fuentes luminosas de reemplazo, del costo de su instalación en el portalámparas (mano de obra) y del costo de la energía eléctrica.

**3.1.1.98 Vida útil (de una fuente luminosa).** Período de servicio efectivo de una fuente que trabaja bajo condiciones y ciclos de trabajo nominales hasta que su flujo luminoso sea el 70 % del flujo luminoso total. Consultar para la próxima reunión el porcentaje (70%).



**3.1.1.99** *Vida normal (de una lámpara de descarga).* Periodo de funcionamiento a tensión nominal, expresado en horas, en ciclos de diez horas, en la posición recomendada por el fabricante.

**3.1.1.100** *Visibilidad.* Cualidad o estado de ser perceptible por el ojo. En muchas aplicaciones en exteriores, la visibilidad se define en términos de distancia a la cual un objeto puede ser percibido escasamente por el ojo. En aplicaciones en interiores, usualmente se define en términos de contraste o del tamaño de un objeto estándar de prueba, observado en condiciones normalizadas de visión, con el mismo umbral que el objeto dado.

**3.1.1.101** *Voltaje nominal.* Valor del voltaje de alimentación especificado por el fabricante y según el cual se determinan las condiciones de aislamiento y de funcionamiento de un equipo. Se expresa en voltios (V).

### **3.1.2** *Relativas al servicio público*

**3.1.2.1** *Servicio de alumbrado público.* Es el servicio público no domiciliario que se presta con el objeto de proporcionar exclusivamente la iluminación de los bienes de uso público y demás espacios de libre circulación con tránsito vehicular o peatonal, dentro del perímetro urbano y rural de un Municipio o Distrito. El servicio de alumbrado público comprende las actividades de suministro de energía al sistema de alumbrado público, la administración, la operación, el mantenimiento, la modernización, la reposición y la expansión del sistema de alumbrado público. La iluminación de las zonas comunales en las unidades inmobiliarias cerradas o conjuntos residenciales, hacen parte del servicio de alumbrado público.

**3.1.2.2** *Sistema de alumbrado público.* Comprende el conjunto de luminarias, redes eléctricas, transformadores de uso exclusivo y en general, todos los equipos necesarios para la prestación del servicio de alumbrado público.

### **3.1.3** *Relativas a tránsito*

**3.1.3.1** *Accesibilidad.* Condición esencial de los servicios públicos que permite en cualquier espacio o ambiente exterior o interior el fácil disfrute de dicho servicio por parte de toda la población.

**3.1.3.2** *Acera o vereda.* Franja longitudinal de la vía urbana, destinada exclusivamente a la circulación de peatones, ubicada a los costados de ésta.

**3.1.3.3** *Alameda.* Es una franja de circulación peatonal arborizada y dotada del respectivo mobiliario urbano. Dentro de su sección podrá contener ciclo vía. Las alamedas podrán constituirse como zonas de control ambiental.

**3.1.3.4** *Autopista.* Vía de calzadas separadas, cada una con dos (2) o más carriles, control total de acceso y salida, con intersecciones en desnivel o mediante entradas y salidas directas a otras carreteras y con control de velocidades mínimas y máximas por carril.

**3.1.3.5** *Estacionamiento.* Parte complementaria de la estructura de la vía utilizada como zona de transición entre la calzada y el andén, destinada al estacionamiento de vehículos.

**3.1.3.6** *Berma.* Parte de la estructura de la vía, destinada al soporte lateral de la calzada para el tránsito de peatones, semovientes y ocasionalmente al estacionamiento de vehículos y tránsito de vehículos de emergencia.

**3.1.3.7** *Bocacalle.* Embocadura de una calle en una intersección.

**3.1.3.8** *Carrosable.* Vía sin pavimentar destinada a la circulación de vehículos.

**3.1.3.9** *Carretera.* Vía cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos.

**3.1.3.10** *Carril.* Parte de la calzada destinada al tránsito de una sola fila de vehículos.



- 3.1.3.11** *Cruce e intersección.* Punto en el cual dos (2) o más vías se encuentran.
- 3.1.3.12** *Redondel.* Intersección donde no hay cruces directos sino maniobras de entrecruzamientos y movimientos alrededor de una isleta o plazoleta central (MOP).
- 3.1.3.13** *Paso a nivel.* Intersección a un mismo nivel de una calle o carretera con una vía férrea.
- 3.1.3.14** *Paso peatonal a desnivel.* Puente o túnel diseñado, especialmente, para que los peatones atraviesen una vía.
- 3.1.3.15** *Paso peatonal a nivel.* Zona de la calzada delimitada por dispositivos y marcas especiales con destino al cruce de peatones.
- 3.1.3.16** *Parqueadero.* Lugar público o privado destinado al estacionamiento de vehículos.
- 3.1.3.17** *Parques.* Corresponde a aquellos espacios verdes de uso colectivo que actúan como reguladores del equilibrio ambiental, son elementos representativos del patrimonio natural y garantizan el espacio libre destinado a la recreación, contemplación y ocio para todos los habitantes, e involucran funcionalmente los principales elementos de la estructura ecológica principal para mejorar las condiciones ambientales en todo el territorio urbano.
- 3.1.3.18** *Peatón.* Persona que transita a pie.
- 3.1.3.19** *Plaza.* Es un espacio abierto, destinado al ejercicio de actividades de convivencia ciudadana.
- 3.1.3.20** *Sardinell.* Elemento de concreto u otros materiales para delimitar la calzada de una vía.
- 3.1.3.21** *Semáforo.* Dispositivo electromagnético o electrónico para regular el tránsito de vehículos, peatones mediante el uso de señales luminosas.
- 3.1.3.22** *Señal de tránsito.* Dispositivo físico o marca especial. Preventiva y reglamentaria e informativa, que indica la forma correcta como deben transitar los usuarios de las vías.
- 3.1.3.23** *Señales luminosas de peligro.* Señales visibles en la noche que emiten su propia luz, en colores visibles como el rojo, amarillo o blanco.
- 3.1.3.24** *Parterre.* Espacio estrecho y saliente que independiza dos calzadas de una vía.
- 3.1.3.25** *Vehículo.* Todo aparato montado sobre ruedas que permite el transporte de personas, animales o cosas de un punto a otro por vía terrestre pública o privada abierta al público.
- 3.1.3.26** *Vía.* Zona de uso público o privado, abierta al público, destinada al tránsito de vehículos, personas y animales.
- 3.1.3.27** *Vía arteria o avenida.* Vía de un sistema vial urbano con prelación de circulación de tránsito sobre las demás vías, con excepción de la vía férrea y la autopista.
- 3.1.3.28** *Vía de metro o metro vía.* Es aquella de exclusiva destinación para las líneas de transporte público municipal, independientemente de su configuración y que hacen parte integral de su infraestructura de operación.
- 3.1.3.29** *Vía férrea.* Diseñada para el tránsito de vehículos sobre rieles, con prelación sobre las demás vías, excepto para las ciudades donde existe metro, en cuyos casos será éste el que tenga la prelación.

**3.1.3.30** *Vía peatonal.* Zonas destinadas para el tránsito exclusivo de peatones.

**3.1.3.31** *Vía principal.* Vía de un sistema con prelación de tránsito sobre las vías ordinarias.

**3.1.3.32** *Vía secundaria.* La que tiene tránsito subordinado a las vías principales.

**3.1.3.33** *Zona escolar.* Parte de la vía situada frente a un establecimiento de enseñanza y que se extiende cincuenta (50) metros al frente y a los lados del límite del establecimiento.

**3.1.4** *Relativas al espacio público y planes de ordenamiento.*

**3.1.4.1** *Espacios Peatonales.* Son los espacios peatonales constituidos por los bienes de uso público destinados al desplazamiento, uso y goce de los peatones, y por los elementos arquitectónicos y naturales de los inmuebles de propiedad privada que se integran visualmente para conformar el espacio urbano. Tienen como soporte la red de andenes, cuya función principal es la conexión peatonal de los elementos simbólicos y representativos de la estructura urbana.

Los espacios peatonales estructurantes son: las plazas y plazoletas; la red de andenes; las vías peatonales; las zonas de control ambiental, los separadores, los retrocesos y otros tipos de franjas de terreno entre las edificaciones y las vías; los paseos y alamedas; los puentes y túneles peatonales.

Los elementos complementarios de los espacios peatonales estructurantes son:

- El mobiliario urbano.
- La cobertura vegetal urbana, bosques, jardines, arbolado y prados.
- Los monumentos conmemorativos y los objetos artísticos.
- Otros elementos pertenecientes a bienes de propiedad privada, tales como los cerramientos, antejardines, pórticos, fachadas y cubiertas.

**3.1.4.2** *Espacio público.* Es el conjunto de inmuebles públicos y los elementos arquitectónicos y naturales de los inmuebles privados, destinados por su naturaleza, por su uso o afectación a la satisfacción de necesidades urbanas colectivas que trascienden, por tanto, los límites de los intereses individuales de los habitantes.

Así, constituyen el espacio público de la ciudad las áreas requeridas para la circulación, tanto peatonal como vehicular, las áreas para la recreación pública, activa o pasiva, para la seguridad y tranquilidad ciudadana, las franjas de retiro de las edificaciones sobre las vías, fuentes de agua, parques, plazas, zonas verdes y similares, las necesarias para la instalación y mantenimiento de los servicios públicos básicos, para la instalación y uso de los elementos constitutivos del amueblamiento urbano en todas sus expresiones, para la preservación de las obras de interés público y de los elementos históricos, culturales, religiosos, recreativos y artísticos, para la conservación y preservación del paisaje y los elementos naturales del entorno de la ciudad, los necesarios para la preservación y conservación de las playas marinas y fluviales, los terrenos de bajamar, así como de sus elementos vegetativos, arenas y corales y, en general, por todas las zonas existentes o debidamente proyectadas en las que el interés colectivo sea manifiesto y conveniente y que constituyen, por consiguiente, zonas para el uso o el disfrute colectivo.

**3.1.4.3** *Intersecciones.* Son soluciones viales, tanto a nivel como a desnivel, que buscan racionalizar y articular correctamente los flujos vehiculares del Sistema Vial, con el fin de incrementar la capacidad vehicular, disminuir los tiempos de viaje y reducir la accidentalidad, la congestión vehicular y el costo de operación de los vehículos.

**3.1.4.4** *Malla vial arterial principal.* Es la red de vías de mayor jerarquía. Actúa como soporte de la movilidad y accesibilidad urbana, regional y de conexión con el resto del país.



**3.1.4.5 Malla arterial complementaria.** Es la red de vías que articula operacionalmente los subsistemas de la malla arterial principal, facilita la movilidad de mediana y larga distancia como elemento articulador a escala urbana.

**3.1.4.6 Malla vial intermedia.** Está constituida por una serie de tramos viales que permean la retícula que conforma la malla arterial principal y complementaria, sirviendo como alternativa de circulación a éstas. Permite el acceso y la fluidez de la ciudad a escala zonal.

**3.1.4.7 Malla vial local.** Está conformada por los tramos viales cuya principal función es la de permitir la accesibilidad a las unidades de vivienda.

**3.1.4.8 Sección vial.** Es la representación gráfica de una vía que esquematiza, en el sentido transversal al eje, sus componentes estructurales y de amueblamiento típicos.

**3.1.4.9 Sistema de espacio público.** El espacio público, de propiedad pública o privada, se estructura mediante la articulación espacial de las vías peatonales y andenes que hacen parte de las vías vehiculares, los controles ambientales de las vías arterias, el subsuelo, los parques, las plazas, las fachadas y cubiertas de los edificios, las alamedas, los antejardines y demás elementos naturales y construidos definidos en la legislación nacional y sus reglamentos.

**3.1.4.10 Sistema vial.** Red jerarquizada de vías de un municipio o distrito dispuesta para su movilidad y que permite su conexión con la red vial regional y nacional.

**3.1.4.11 Zonas de reserva vial.** Son las franjas de terreno necesarias para la construcción o la ampliación de las vías públicas, que deben ser tenidas en cuenta al realizar procesos de afectación predial o de adquisición de los inmuebles y en la construcción de redes de servicios públicos domiciliarios.

**3.2 Abreviaturas.** Las siguientes son las abreviaturas a ser utilizadas en el presente reglamento.

$U_o$	=	Factor de uniformidad general	$Q_o$	=	Coefficiente promedio de de luminancia
$L$	=	Luminancia	$M1 \dots M5$	=	Clases de Iluminación para vías vehiculares
$L_{min}$	=	Luminancia mínima	$v$	=	Velocidad de circulación
$L_{prom}$	=	Luminancia promedio	$T$	=	Transito de vehiculos
$L_f$	=	Luminancia del fondo	$K$	=	Índice del local
$L_o$	=	Luminancia del objeto	CU	=	Coefficiente ó factor de utilización de las luminarias
$Q$	=	Energía radiante	$S_1$	=	Factor especular 1
$M$	=	Exitancia radiante	$S_2$	=	Factor especular 2
$E$	=	Iluminancia	$K_p$	=	Factor especular
$lx$	=	Lux	$q_p$	=	Factor de luminancia para incidencia vertical
$\eta$	=	Eficacia lumínica	$R1..R4$	=	Clases de superficie
$\rho$	=	Reflectancia de una superficie	$T.I.$	=	Incremento de umbral
$\Phi_R$	=	Flujo luminoso reflejado	$L_v$	=	Luminancia de velo equivalente
$\Phi_i$	=	Flujo luminosos incidente	$U_L$	=	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia
$C$	=	Contraste	$lm$	=	Lúmen
$q$	=	Coefficiente de luminancia	$\lambda$	=	Longitud de onda
$E_h$	=	Iluminancia horizontal en el punto p.	CRI ó Ra	=	Índice de reproducción cromática
$r$	=	Coefficiente reducido de luminancia	$F_M$	=	Factor de mantenimiento
			Ra	=	Índice de reproducción cromática

## 4. REQUISITOS

### 4.1 Requisitos generales para un sistema de iluminación.

**4.1.1 Reconocimiento del sitio y objetos a iluminar.** Antes de proceder con un proyecto de iluminación se deben conocer las condiciones físicas y arquitectónicas del sitio o espacio a iluminar, sus condiciones ambientales y su entorno, dependiendo de tales condiciones se deben tomar decisiones que conduzcan a tener resultados acordes con los requerimientos del presente reglamento. Son determinantes en una buena iluminación conocer aspectos como el color de los objetos a iluminar, el contraste con el fondo cercano y circundante y el entorno, el tamaño y brillo del objeto.

#### **4.1.2 Requerimientos de iluminación**

**4.1.2.1** En un proyecto de iluminación se deben conocer los requerimientos de luz para los usos que se pretendan, para lo cual se debe tener en cuenta los niveles óptimos de iluminación requeridos en la tarea a desarrollar, las condiciones visuales de quien las desarrolla, el tiempo de permanencia y los fines específicos que se pretendan con la iluminación. Igualmente, el proyecto debe considerar los aportes de luz de otras fuentes distintas a las que se pretenden instalar y el menor uso de energía sin deteriorar los requerimientos de iluminación. Otros aspectos a tener en cuenta para satisfacer los requerimientos de iluminación están relacionados con el tipo de luz.

**4.1.2.2** En todo proyecto de iluminación o alumbrado público se debe estructurar un plan de mantenimiento del sistema que garantice atender los requerimientos de iluminación durante la vida útil del proyecto, garantizando los flujos luminosos dentro de los niveles permitidos (flujo luminoso mantenido).

#### **4.1.3 Criterios de selección de fuentes luminosas y luminarias**

**4.1.3.1** En todos los proyectos de iluminación, se deben elegir las fuentes luminosas teniendo en cuenta, la eficacia lumínica, flujo luminoso, características fotométricas, reproducción cromática, temperatura del color, duración y vida útil de la fuente, en función de las actividades y objetivos de uso de los espacios a iluminar; así como de consideraciones arquitectónicas y económicas.

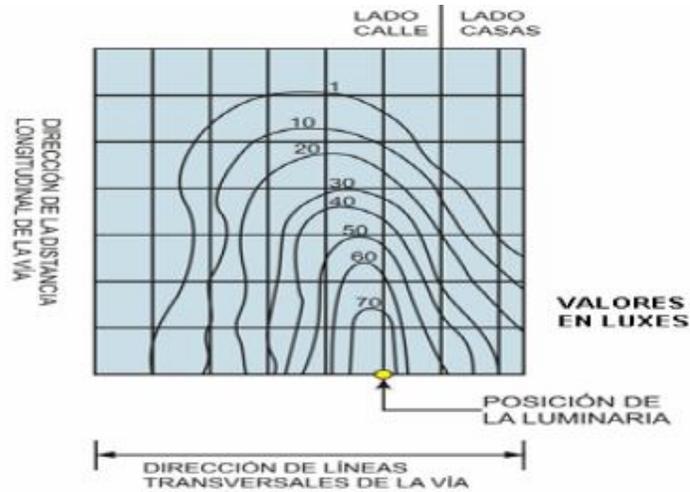
**4.1.3.2** Para cumplir estos criterios los fabricantes y/o comercializadores de fuentes luminosas, luminarias y en general los productos usados en iluminación deben suministrar la información exigida en los requisitos de productos establecidos en 4.2.1, tal información debe ser utilizada por los diseñadores y referenciada en las memorias de cálculo.

**4.1.3.3** Para identificar, clasificar y seleccionar las fuentes y luminarias es necesario conocer sus parámetros mediante los documentos fotométricos que deben suministrar los fabricantes y distribuidores.

- a) *Matriz de intensidades.* Es el principal documento fotométrico de cualquier fuente de luz o de cualquier luminaria y muestra la información de distribución de la intensidad lumínica de la fuente.
- b) *Diagrama isolux.* Es una representación a escala de los niveles lumínicos que se alcanzarían sobre algún plano horizontal de trabajo en relación con la altura de montaje. Permite realizar cálculos gráficos manuales bastante precisos punto a punto en instalaciones de alumbrado público, instalaciones industriales o en canchas deportivas.

El diagrama isolux debe cubrir un área comprendida sobre el plano de trabajo horizontal normal de la luminaria en sentido transversal entre  $-2,5$  y  $+5,0$  veces la altura de montaje. En el sentido longitudinal cubre desde  $0,0$  hasta  $+7,0$  veces la altura de montaje. Lo anterior, asumiendo que la luminaria se encuentra en el punto  $(0, 0)$ .

### **FIGURA 1.**



El diagrama isolux debe expresar con claridad dos referentes, con el fin de establecer los respectivos factores de corrección. a) La altura de montaje a la que está referido, (permite establecer la escala) y el flujo luminoso de la fuente de luz con la que se realizó.

Las diferentes curvas del diagrama se deben expresar en luxes.

La curva de mínimo valor isolux en el diagrama, debe permitir el cálculo de niveles de iluminancia hasta de 1 lux, cuando la luminaria esté ubicada en la altura de montaje recomendada por el fabricante y tenga la lámpara igualmente recomendada para su uso.

El factor de corrección por la altura de montaje se establece en términos de  $(h_o/h_m)^2$  donde  $h_m$  corresponde a la altura de montaje del proyecto en tanto que  $h_o$  corresponde a la altura a la cual se obtuvo la curva isolux presente.

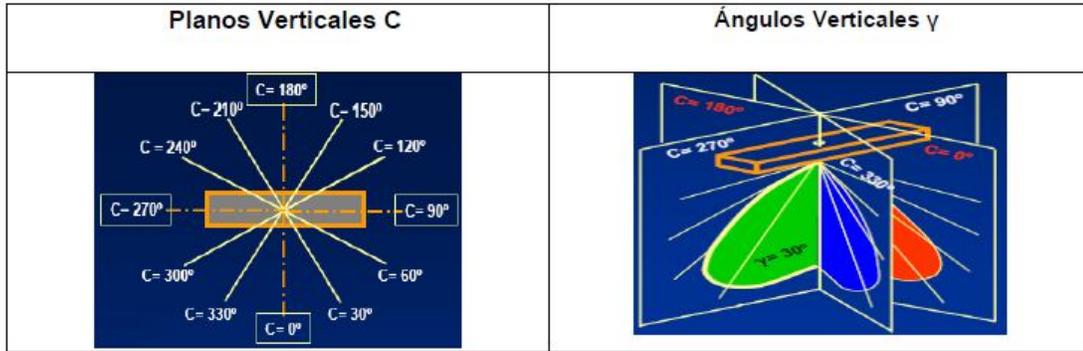
El factor de corrección por los lúmenes de la lámpara, es directamente proporcional y se expresa como  $(\phi_1/\phi_o)$ , donde  $\phi_1$  son los lúmenes del proyecto actual y  $\phi_o$  los lúmenes con los cuales se representa la curva isolux.

- c) *Diagrama polar de intensidad luminosa*. Corresponde a uno o varios planos **C** específicos en un diagrama isocandela. En el modelo **CIE**, los planos utilizados para conformar diagramas polares son: el que queda justo al frente y atrás de la luminaria (planos **C** = 90 y 270 respectivamente) y el que contiene el valor de la máxima intensidad.

Su principal utilización debe ser para establecer la clasificación de las luminarias con relación al control que tengan sobre las componentes de la luminaria que contribuyen a efectos deslumbrantes sobre los usuarios.

**4.1.3.4** Como en los sistemas de iluminación se usan varios sistemas de coordenadas, se debe tener precisión con cuál de ellos se trabaja. Considerando que los más aplicados son los adoptados por la COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE -CIE- y por la ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA – IESNA-, se hacen algunas precisiones sobre estos dos sistemas de coordenadas, en especial sus posiciones de referencia.

**FIGURA 2.**

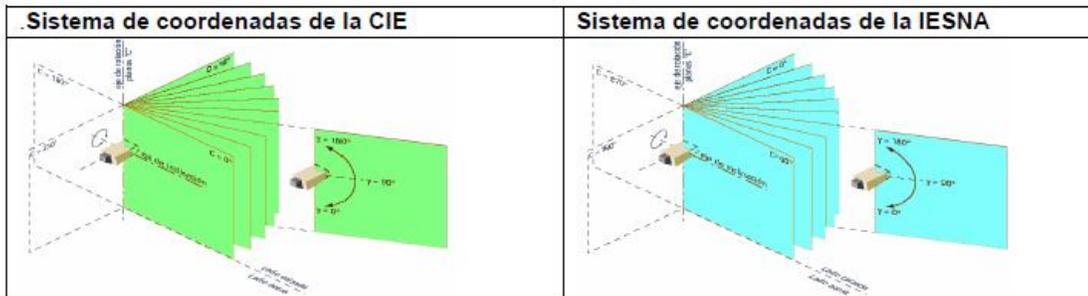


**4.1.3.5** En la versión **CIE**, denominadas coordenadas esféricas del tipo (**C -  $\gamma$  CIE**), el ángulo **C** inicia en el sentido longitudinal de la vía (ángulo **C=0°**), desde la derecha (visto en planta y desde arriba) y avanza en sentido contrario al uso horario. Así, la porción simétrica de una luminaria para alumbrado público cubre los ángulos desde **C= -90°** hasta **C= +90°**. Cada uno de estos ángulos distingue un PLANO. Así que en adelante, no se hará referencia al ángulo **C** sino al Plano **C**.

**4.1.3.6** En cada plano **C** se pueden distinguir los ángulos verticales denominados  $\gamma$  (Gamma). La denominación de estos ángulos comienzan en 0° el cual se halla ubicado en la vertical en dirección hacia abajo ( $\gamma=0°$  ó Nadir) y avanzan en forma ascendente hasta la horizontal ( $\gamma=90°$ ). En algunas ocasiones puede incluir ángulos verticales hasta 180° (en dirección vertical hacia arriba ó Cenit), para algunas luminarias decorativas.

**4.1.3.7** En el modelo de coordenadas definido por la **IESNA**, el ángulo horizontal del diagrama isocandela inicia justo al frente de la luminaria (ángulo **C=0°**) y avanza en sentido al uso horario, visto en planta, desde arriba. Igual que en el modelo anterior, cada ángulo **C** define un PLANO. Así que en adelante, no se hará referencia al ángulo **C** sino al Plano **C**.

**FIGURA 3.**



**4.1.3.8** Con respecto al ángulo vertical, denominado  $\gamma$  (Gamma), avanza desde la vertical en dirección hacia abajo ( $\gamma=0°$  ó Nadir) hasta la horizontal ( $\gamma=90°$ ), aunque en algunas ocasiones puede incluir ángulos verticales hasta 180°, es decir en dirección vertical hacia arriba (ó Cenit), para algunas luminarias decorativas. El ángulo  $\gamma$  (Gamma) se comporta de manera similar en ambos sistemas de coordenadas.

**4.1.3.9** Este tipo de coordenadas esféricas se denomina Coordenadas (**C -  $\gamma$  IESNA**), y es el sistema de coordenadas que se utiliza generalmente para definir la fotometría de las luminarias de alumbrado público. Para hacer una transformación de coordenadas entre sistemas, se utiliza una fórmula que da la relación entre planos CCIE y planos CIES. Esta fórmula es:

$$C_{CIE} = 90^\circ - C_{IES}$$

**4.1.3.10** Para los documentos relacionados con proyectores, se debe utilizar el sistema de coordenadas rectangulares, provenientes del sistema internacional de medidas y patrones.

**4.1.4** *Duración o vida útil de la fuente lumínica.* Uno de los factores a tener en cuenta en todo proyecto de iluminación es la vida útil de la fuente, por lo que el fabricante debe suministrar la información sobre el particular.

**4.1.5** *Curvas de depreciación luminosa de las fuentes*

**4.1.5.1** El flujo luminoso de las fuentes luminosas decrece en función del tiempo de operación por desgaste de sus componentes. La curva característica de depreciación bajo condiciones de operación nominales varía dependiendo de la sensibilidad de la misma al número de ciclos de encendido y apagado.

**4.1.5.2** La depreciación del flujo de las fuentes luminosas también se ve afectada por las variaciones en los parámetros de alimentación de la red y/o de las características de los equipos auxiliares tales como arrancadores y balastos.

**4.1.5.3** Los fabricantes y/o comercializadores de fuentes luminosas deben disponer en catálogo o en otro medio de fácil acceso y consulta la información correspondiente a las curvas de depreciación de las fuentes y la norma técnica aplicada para su ensayo. En el mismo sentido deben informarse las condiciones de alimentación y encendido para la operación normal de la lámpara, tales como el rango de voltaje de operación nominal de la lámpara.

**4.1.5.4** Para lámparas de sodio de alta presión los fabricantes y/o comercializadores deben informar la característica de tiempo de encendido por arranque y el rango de voltaje para operación nominal de la lámpara, factores que son determinantes en su vida útil.

**4.1.5.5** Para lámparas de halogenuros metálicos, los fabricantes y/o comercializadores deben definir e informar la posición óptima de operación, en razón a que para tal posición se tiene mayor mantenimiento luminoso durante toda la vida.

**4.1.5.6** Para otro tipo de fuente lumínica, los fabricantes y/o comercializadores deben definir e informar la posición óptima de operación y demás características necesarias de funcionamiento.

**4.1.5.7** La certificación de la lámpara debe hacerse con el procedimiento de una norma internacional tal como la IEC 60662 "*High – pressure sodium vapour lamps*", o de reconocimiento internacional como la ANSI C78 o NTE INEN equivalente.

**4.1.5.8** El valor de la vida útil de las lámparas, suministrada en los catálogos, empaques o disponible en la WEB, debe estar certificado por un organismo de certificación o laboratorio independiente certificado bajo ISO/IEC 17025. Además el fabricante podrá declarar la vida útil, siempre que se encuentre certificado bajo la norma ISO IEC 17025 para declaración del proveedor y disponga de la información soporte de las pruebas o ensayos realizados.

**4.1.6** *Curva de mortalidad o de vida promedio de las fuentes luminosas*

**4.1.6.1** El fabricante debe informar sobre la duración de cada tipo de fuente luminosa, publicando la curva de mortalidad correspondiente, o indicando el índice de lámparas sobrevivientes.

**4.1.6.2** En este tipo de curva debe determinarse el porcentaje de fuentes que siguen en operación después de un periodo o número de horas de servicio. Con base en esta curva se puede calcular la probabilidad de falla en cada uno de los periodos (años, meses) de funcionamiento de una instalación de alumbrado y hacer los estimativos de reposición de lámparas por mantenimiento.

**4.1.6.3** En el caso de las lámparas de descarga en gas, la vida útil de la lámpara se considera hasta cuando su flujo luminoso llega al 70% del flujo inicial.

**4.1.6.4** El flujo inicial es el flujo medido en la lámpara a las 100 horas de encendida, operando con un balasto de referencia.

**4.1.7** *Flujo luminoso para diseño.* Para el diseño de alumbrado público los cálculos se deben hacer tomando el valor de flujo luminoso nominal de las fuentes. El diseñador deberá considerar los factores y características de mantenimiento del flujo luminoso, a lo largo de la vida de la fuente.

**4.1.8** *Vida económica de las fuentes y análisis económico de luminarias*

**4.1.8.1** La vida económica de una fuente luminosa es el período expresado en horas después del cual la relación entre el costo de reposición y el costo de los lúmenes-hora que sigue produciendo, no es económicamente favorable. La vida económica depende por consiguiente de la curva característica de depreciación, del costo de las lámparas de reemplazo, del costo de la mano de obra para el cambio y del costo de la energía consumida.

**4.1.8.2** Para efectos del presente reglamento se precisa que las fuentes luminosas sean usadas como parte de una luminaria y por lo tanto en el análisis económico se debe considerar el punto luminoso en su totalidad. Es decir, se debe incluir por una parte el efecto del conjunto óptico (fotometría) y por otra el efecto del conjunto eléctrico (eficiencia energética).

**4.1.8.3** Los análisis económicos con fines comparativos o de evaluación deben tener como referencia los niveles de iluminación mantenidos durante el periodo de análisis, debiendo ser tales niveles iguales o superiores a los valores mínimos establecidos en el presente reglamento.

**4.1.8.4** Cada instalación en particular tendrá una vida económica, dependiendo de los resultados de las variables incluidas en el análisis económico.

**4.1.9** *Características de reproducción cromática y de temperatura de color*

**4.1.9.1** Para la clasificación de las lámparas en función de su Índice de Reproducción Cromática (Ra o CRI), se adoptan las tablas 1 y 2 adaptadas de la publicación CIE 29.2 de 1986 “*Guía de iluminación interior. Segunda edición*”.

**TABLA 1. Clasificación de las fuentes luminosas de acuerdo con su índice de reproducción del color**

Clase	Índice de reproducción de color (CRI ó Ra) %
1A	>90
1B	80 a 89
2A	70 a 79
2B	60 a 69
3	40 a 59
4	< 20

**4.1.9.2** Los desarrollos tecnológicos actuales y los estándares en fuentes de iluminación permiten determinar fácilmente las características de reproducción cromática y temperatura de color, la tabla 2 da una orientación al respecto.

**TABLA 2. Tipos de fuentes luminosas en función de sus características de temperatura de color e índice de reproducción cromática**



Índice de reproducción cromática (Ra) o (CRI) %	Clase	Cálido < 3.300 K	Neutro 3.300 – 5.000K	Frio >5.000 K	Criterio de aplicación
≥ 90	1 A	Halógenas	Fluorescente lineal y compacta	Fluorescente lineal y compacta	Principalmente donde la apreciación del color sea un parámetro crítico
		Fluorescente lineal y compacta	Halogenuros metálicos y cerámicos		
		Halogenuros metálicos y cerámicos			
80 - 89	1 B	Fluorescente lineal y compacta	Fluorescente lineal y compacta	Fluorescente lineal y compacta	En áreas donde la apreciación correcta del color no es una consideración primaria pero donde es esencial una buena reproducción de colores
		Halogenuros metálicos y cerámicos	Halogenuros metálicos y cerámicos		
		Sodio Blanco			
70 - 79	2 A	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos	En áreas donde la calidad de apreciación correcta del color es de poca importancia
< 70	2 B, 3 y 4	Mercurio	Mercurio		
		Sodio			

**4.1.9.3** El Ra o CRI tiene que ver con condiciones psicológicas y estéticas, depende del nivel de iluminación, la presencia o ausencia de luz natural, el clima exterior y de la preferencia personal.

#### **4.1.10** *Generalidades del diseño de iluminación*

**4.1.10.1** La luz es un componente esencial en cualquier medio ambiente, hace posible la visión del entorno y además, al interactuar con los objetos y el sistema visual de los usuarios, puede modificar la apariencia del espacio, influir sobre su estética y ambientación, y afectar el rendimiento visual, el estado de ánimo y la motivación de las personas.

**4.1.10.2** El diseño de iluminación debe comprender la naturaleza física, fisiológica y psicológica de esas interacciones y además, conocer y manejar los métodos y la tecnología para producirlas, pero fundamentalmente demanda competencia, creatividad e intuición para utilizarlas.

**4.1.10.3** El diseño de iluminación debe definirse como la búsqueda de soluciones que permitan optimizar la relación visual entre el usuario y su medio ambiente. Esto implica tener en cuenta diversas disciplinas y áreas del conocimiento.

**4.1.10.4** La solución a una demanda específica de iluminación debe ser resuelta en un marco interdisciplinario, atendiendo los diversos aspectos interrelacionados y la integración de enfoques, metodologías, técnicas y resultados. La iluminación puede ser proporcionada mediante luz natural, luz artificial, en lo posible se debe buscar una combinación de ellas que conlleven al uso racional y eficiente de la energía.

#### **4.1.11** *Iluminación eficiente*

**4.1.11.1** En los proyectos de iluminación se deben aprovechar los desarrollos tecnológicos de las fuentes luminosas, las luminarias, los dispositivos ópticos y los sistemas de control, de tal forma que se tenga el mejor resultado lumínico con los menores requerimientos de energía posibles.

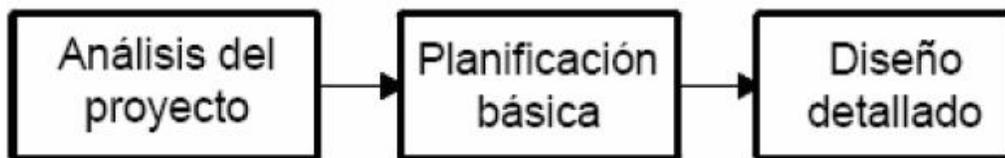
**4.1.11.2** Un sistema de iluminación eficiente es aquel que, además de satisfacer necesidades visuales y crear ambientes saludables, seguros y confortables, posibilita a los usuarios disfrutar de atmósferas agradables, empleando apropiadamente los recursos tecnológicos y evaluando todos los costos razonables que se incurren en la instalación, operación y mantenimiento del proyecto de iluminación.

**4.1.11.3** Los sistemas de iluminación objeto del presente reglamento, deben ser eficientes y por tanto deben contemplar el uso racional y eficiente de energía, entre otros requisitos deben observarse los siguientes:

- a) En todo diseño se deben buscar obtener las mejores condiciones de iluminación usando fuentes luminosas de la mayor eficacia disponible, conjuntos eléctricos de alta eficiencia y luminarias con la fotometría más favorable.
- b) En los proyectos nuevos o remodelaciones de sistemas de iluminación de avenidas, grandes áreas o parques deportivos, donde se tienen altos consumos de energía, se debe considerar la posibilidad de reducir los consumos en las horas de baja circulación de personas o vehículos, mediante la instalación de tecnologías o prácticas apropiadas de control.
- c) En zonas donde se instale alumbrado con lámparas que no permitan cambios de voltaje como método de reducción de potencia, tales como las de halogenuros metálicos, se deben prever los circuitos eléctricos necesarios o los foto controles temporizados, para controlar el encendido de las lámparas.

**4.1.12 Proceso de diseño de iluminación.** El procedimiento que debe seguirse en un diseño de iluminación es el siguiente:

**FIGURA 4.**



#### **4.1.12.1 Análisis del proyecto**

- a) El diseño de un proyecto de iluminación debe partir de un análisis donde se recopile la información que permita determinar las demandas visuales en función de los alcances y limitaciones del trabajo o tareas a realizar, las demandas emocionales y estéticas en función de la sensación de bienestar y contribución a la productividad (confort visual), las demandas de seguridad y las condiciones del espacio. La identificación clara y precisa de estas variables es fundamental para el éxito de cualquier proyecto.
- b) Las demandas visuales son una consecuencia de la realización de actividades y para determinarlas se debe evaluar la dificultad de las tareas en función de sus características y condiciones de realización incluso en condiciones difíciles y tiempos prolongados.
- c) Las demandas emocionales, surgen por la influencia que la luz ejerce sobre el estado de ánimo, motivación, sensación de bienestar y seguridad de las personas.
- d) Las demandas estéticas por su parte, se refieren a la posibilidad de crear ambientación visual, destacar la arquitectura, ornamentación, obras de arte, etc. Para esto hay que considerar las características físicas y arquitectónicas del ambiente, así como del mobiliario y del entorno, la importancia y significado del espacio, etc.
- e) Las demandas de seguridad se determinaran por una parte, en función de los dispositivos de iluminación para circulación de las personas y vehículos en condiciones normales y de emergencia; y por otra, como las características de las fuentes luminosas.
- f) Las condiciones del espacio están relacionadas con las características físicas, tanto de las áreas a iluminar como su entorno.
- g) En el diseño se deben tener en cuenta las restricciones normativas o reglamentarias, por razones de seguridad, disposición de la infraestructura y ocupación del espacio, aspectos tales como la existencia de elementos estructurales, arquitectónicos, mobiliario, canalizaciones o equipos de otros servicios son algunos que se deben tener en cuenta en el sistema de iluminación.

Igualmente, se deben considerar variables económicas y energéticas, el análisis debe, no solo tener en cuenta los costos de instalación inicial sino también los de funcionamiento durante la vida útil del proyecto.

- h) La mayoría de los datos necesarios para el análisis del proyecto se obtiene de la documentación técnica, pero en proyectos que lo ameriten se debe realizar un levantamiento visual y eventualmente fotométrico, eléctrico y fotográfico en la obra, para verificar y completar datos técnicos e identificar detalles difíciles de especificar en planos.
- i) Por último, saber los intereses de los posibles usuarios brindará la oportunidad de conocer e integrar sus opiniones, necesidades y preferencias respecto de las condiciones de iluminación.

#### **4.1.12.2 Planificación básica**

- a) A partir del análisis de la información reunida en la etapa anterior, es posible establecer un perfil de las características que debe tener la instalación para satisfacer las distintas demandas del lugar. Lo que se busca aquí es desarrollar las ideas básicas del diseño sin llegar a precisar todavía ningún aspecto específico como la selección de las luminarias, por ejemplo. En este punto se define el sistema de alumbrado, las características de las fuentes luminosas, la factibilidad para el uso de alumbrado natural y la estrategia para su integración con la iluminación artificial, y sobre todo su espíritu creativo, los elementos que permiten plasmar el concepto inicial de diseño.

#### **4.1.12.3 Diseño detallado:**

- a) El diseño detallado es obligatorio para alumbrado público

En función del perfil definido en la fase de planificación básica, se deben resolver los aspectos específicos del proyecto, tales como:

- La selección de las luminarias,
- El diseño geométrico y sistemas de montaje,
- Los sistemas de alimentación, comando y control eléctricos,
- La instalación del alumbrado de emergencia y seguridad, cuando se requiera.

- b) Análisis económico y presupuesto del proyecto

En esta etapa el diseñador debe presentar mínimo la siguiente documentación técnica:

- Planos de montaje y distribución de luminarias,
- Memorias descriptivas y de cálculos fotométricos,
- Cálculos eléctricos,
- Una propuesta de esquema funcional de la instalación para propiciar el uso racional de la energía,
- El esquema y programa de mantenimiento,
- Las especificaciones de los equipos recomendados.

En lo posible se deben considerar varias alternativas de iluminación:

- c) La selección de las luminarias y del tipo de lámpara es uno de los aspectos más importante de un proyecto de iluminación. El tipo más conveniente se debe determinar sobre la base de consideraciones técnicas, estéticas y, por supuesto, económicas. Aunque siempre deben considerarse los tres factores, hay que establecer prioridades en función de los requerimientos del diseño.
- d) Si la ambientación visual es la pauta predominante, en la selección de las fuentes se buscará la armonía entre los artefactos y el estilo arquitectónico, el carácter y la ornamentación del local. Si se necesita crear condiciones de trabajo visual adecuadas y alta eficiencia energética, van a prevalecer los criterios técnicos, tales como, el rendimiento de las luminarias, las características

fotométricas, el control de deslumbramiento, el color de la fuente luminosa, su eficacia y su vida útil.

- e) El diseñador debe tener en cuenta que las luminarias se diseñan para funcionar con determinados tipos de lámparas existentes en el mercado, esto implica que una vez definido el tipo de fuente, el universo de luminarias disponibles se reduce. Lo mismo ocurre con las lámparas si primero se define el tipo de luminaria. De manera que, la elección debe hacerse en forma que siempre se use la lámpara con una luminaria diseñada para ella o viceversa.

Los criterios que se deben usar para identificar los tipos de luminarias son:

- Su fotometría,
  - Su uso,
  - El tipo de fuente de luz o lámpara,
  - Las dimensiones y forma de la luminaria,
  - El tipo de montaje o instalación requerido,
  - Su cerramiento o índice de protección IP,
  - El tipo de superficie reflectora de su conjunto óptico,
  - Eficiencia energética.
- f) En la escogencia de la luminaria se debe tener en cuenta las características físicas, constructivas, mecánicas, eléctricas, térmicas, de seguridad, estéticas y económicas.
- g) En instalaciones de alumbrado, y con el propósito de ahorrar energía sin deterioro de la calidad de la iluminación, no se debe recurrir al reemplazo de lámparas por otras de tecnologías más eficientes sin previamente verificar las implicaciones en la fotometría de la luminaria y por ende en la iluminación.
- h) Los reemplazos de lámparas con diferentes tecnologías o formas puede implicar una modificación sustancial de la fotometría de la luminaria, por cuanto cambian el tamaño, la forma y a veces, hasta el tipo de recubrimiento (claro o transparente), por lo que se debe hacer un análisis fotométrico y colorimétrico con las nuevas fuentes a fin de verificar que la distribución espacial de la luz y la reproducción de colores no se modifiquen y afecten las condiciones de iluminación y visión.

#### **4.1.12.4** *Uso de software para diseño de sistemas de iluminación*

- a) El software empleado en el cálculo y diseño de sistemas de iluminación debe cumplir con los siguientes requisitos:
- a.1) El software debe permitir ingresar la información fotométrica de las fuentes en las coordenadas establecidas en el presente reglamento.
  - a.2) Deberá disponer de rutinas de ingreso para la información del diseño geométrico. De la misma forma deberá permitir ingresar la información relacionada con la identificación del objeto de diseño y del diseñador.
  - a.3) Las unidades de medida para los datos a ingresar al software y las de los resultados deben ser claramente identificables, seleccionables y visibles.
  - a.4) Las rutinas de entrada de datos deben permitir la identificación y/o selección de los parámetros a los cuales corresponde la información en cada instante ingresada, tales como: tipo de coordenadas de la fotometría empleada, altura de montaje e inclinación de la luminaria, distancias entre luminarias, posiciones relativas de las luminarias respecto del local, vía o espacio a iluminar, posiciones de las mallas de cálculo y del observador, condiciones ambientales, tipos de superficies e índices de reflexión asociados.
  - a.5) El software debe permitir el uso de las fotometrías reales de las fuentes y no una modelación puntual de las mismas. En el mismo sentido, y con el objeto de disponer de cálculos más

exactos y precisos, deberá considerar los efectos de reflexiones, las formas y tamaños de los obstáculos.

- a.6) El software debe permitir identificar las normas internacionales o de reconocimiento internacional usadas en sus algoritmos de cálculo, tales como: CIE, IESNA., NTE, ANSI, etc.
- a.7) En el caso de software para el diseño de alumbrado público, la metodología de cálculo deberá cumplir con los lineamientos especificados en la norma CIE 140 2000 (ver nota 6).
- a.8) De requerirse, para la evaluación de las prestaciones fotométricas de las luminarias por parte de la institución contratante, se deberá utilizar un software de licencia libre que cumpla con la metodología de la norma CIE 140-2000 actualizada. La diferencia entre los resultados del software utilizado por el oferente y el utilizado por el contratante, no podrá ser mayor de 5%, para su aceptación.

**4.1.13** *Uso racional de energía en iluminación.* Todos los proyectos de iluminación y alumbrado público deben incorporar y aplicar conceptos de uso racional y eficiente de energía. A continuación se da una serie de buenas prácticas para conseguir una iluminación eficiente, haciendo uso racional de la energía.

#### **4.1.13.1** *Alumbrado exterior y público*

- a) Utilice luminarias para alumbrado público con fotometrías que le permitan hacer diseños con la mayor interdistancia y menor altura de montaje.
- b) Instale luminarias con el más bajo flujo hemisférico superior (FHS) posible.
- c) Elija conjuntos ópticos con el mejor factor de utilización y la mejor eficacia de la lámpara.
- d) Use equipos para el conjunto eléctrico con bajas pérdidas, dimerizables o que permitan la reducción de potencia.
- e) Elija correctamente los ángulos de apertura para los proyectores.
- f) Siga las recomendaciones sobre posiciones de instalación de proyectores.
- g) Use controles temporizados para proyectores.

#### **4.1.13.2** *Otras medidas que se deben tener en cuenta para aplicación del uso racional de energía*

- a) Escoja fuentes de luz más eficaz y satisfagan los requerimientos de rendimiento de color.
- b) Use la luminaria más eficiente, que satisfaga el requerimiento de confort en términos de apantallamiento.
- c) Controle el horario de apagado y encendido de sistemas de iluminación, sin comprometer aspectos de seguridad.

---

NOTA 6. El ente regulador del sector eléctrico, deberá definir el software que servirá como referencia para los cálculos.

#### **4.1.14** *Iluminación en el análisis de riesgos*

**4.1.14.1** Todo proyecto de iluminación debe estar acompañado de un análisis de riesgos que en materia de iluminación se pueden minimizar o eliminar. La iluminación de los espacios públicos debe

considerar el análisis de los posibles riesgos que se mitigan con un adecuado proyecto. En el análisis se deben considerar todos los aspectos de la iluminación relacionados con la salud y seguridad de las personas, el medio ambiente y la vida animal y vegetal, en este sentido, debe considerarse los requerimientos de iluminación de emergencia en túneles y/o pasos peatonales que ameriten, en caso de falla en las instalaciones de alumbrado normal o del suministro de energía.

**4.1.14.2** El cansancio visual por variaciones en la acomodación del ojo puede llevar a la presentación de mareos, originados por el efecto cebra y el efecto parpadeo.

**4.1.14.3** El efecto cebra se produce por la aparición sucesiva de zonas claras y oscuras ante el conductor que puede llegar a sentir una sensación de molestia e incluso mareo por una baja uniformidad de las luminancias.

**4.1.14.4** El efecto de parpadeo o flicker se produce por cambios periódicos de los niveles de luminancia en el campo de visión, según unas frecuencias críticas, entre 2,5 y 15 ciclos/segundo, que provocan incomodidad y mareos.

**4.1.14.5** La inadecuada disposición física de los equipos de iluminación puede llevar a que se presenten deslumbramientos perturbadores o molestos, debido a la luz que emiten directamente las fuentes luminosas o reflejadas; por ello el deslumbramiento es un factor importante a considerar en el análisis de riesgos.

**4.1.14.6** Por tales razones la evaluación de las condiciones bajo las cuales se desplazan los peatones y los vehículos en los espacios públicos, deben considerar los siguientes aspectos, para minimizar el riesgo de inseguridad, accidentalidad y deterioro de la salud visual:

- a) Niveles adecuados de iluminación dependerán del lugar y actividad de las personas que van a utilizar dicho alumbrado.
- b) Uniformidad de los niveles de iluminación.
- c) Control del deslumbramiento.
- d) Temperatura de color de las fuentes luminosas y su índice de reproducción del color dependerán de la actividad que se desarrolla en el sitio iluminado.
- e) Temperatura asociada a la operación de las luminarias y sitios de montaje.
- f) Condiciones de localización para la operación y el mantenimiento.

**4.1.14.7** En el análisis de riesgos se debe considerar el rendimiento visual, que es el término usado para describir la velocidad con la que funciona el ojo, así como; la precisión con la cual se puede llevar a cabo una tarea visual. El valor del rendimiento visual para la percepción de un objeto se incrementa hasta cierto nivel al incrementar la iluminación o la luminancia del área. Otros factores que influyen sobre el rendimiento visual son el tamaño de la tarea visual y su distancia al observador, así como, los contrastes de color y luminancia.

**4.1.15** *Instrumentos de medición de iluminación.* Los proyectos de iluminación, las fuentes y luminarias se deben medir con los instrumentos adecuados, con las calibraciones y certificaciones acordes con las normas de metrología establecidas en el país.

**4.1.15.1** *Medidor del flujo luminoso.* Las medidas de flujo luminoso se deben realizar en laboratorios acreditados o reconocidos por medio de un foto elemento ajustado según la curva de sensibilidad fotópica de ojo a las radiaciones monocromáticas, incorporado a un casco esférico conocido con el nombre de Esfera de Ulbricht, y en cuyo interior se coloca la fuente luminosa a medir.

**4.1.15.2** *Medidor de iluminancia*

- a) Las cantidades fotométricas que se necesitan medir en trabajos de campo son la iluminancia y la luminancia, las cuales se miden con el luxómetro y el luminancímetro.

- b) Un medidor de iluminancia (luxómetro) tiene tres características importantes: sensibilidad, corrección de color y corrección coseno.
- c) La sensibilidad se refiere al rango de iluminancia que cubre, dependiendo si será usado para medir luz natural, la iluminación interior o exterior nocturna. Para una adecuada medición de iluminancia se requiere que el luxómetro tenga certificado de calibración vigente y las siguientes especificaciones técnicas, respuesta espectral  $\leq$  al 4% de la curva CIE Standard, error de coseno  $\leq$  al 3% a 30°, pantalla de 3,5 dígitos, precisión de  $\pm 5\%$  de lectura  $\pm$  un dígito y rango de lectura entre 0,1 y 19,990 luxes.
- d) La corrección de color se refiere a que el instrumento tiene un filtro de corrección, para que el instrumento tenga una sensibilidad espectral igual a la del Observador Standard Fotópico de la CIE.
- e) La corrección coseno significa que la respuesta del medidor de iluminancia a la luz que incide sobre él desde direcciones diferentes a la normal sigue la ley de coseno.

#### **4.1.15.3 Medidor de luminancia**

- a) El luminancímetro mide la luminancia media sobre un área específica. Posee un sistema óptico que enfoca la imagen sobre un detector. Mirando a través del sistema óptico el operador puede identificar el área sobre la que está midiendo la luminancia y usualmente, muestra la luminancia promedio sobre esta área.
- b) Las características y requisitos más importantes que deben tener los luminancímetros son su respuesta espectral acorde con la curva de sensibilidad espectral del observador estándar de la CIE, su sensibilidad y la calidad de su sistema óptico; ángulo de aceptación 1/3°, sistema óptico con lentes de 85 mm, sistema SLR factor de destello inferior a 1,5%, receptor de fotocelda de silicio, respuesta espectral de acuerdo con la curva fotópica de la CIE (iluminante A; valor integrado de 400 a 760 nm), unidad de medida  $\text{cd/m}^2$ , exactitud de 0,01 a 9,99  $\text{cd/m}^2 \cdot \pm 2\% \pm 2$  dígitos del valor visualizado; 10,00  $\text{cd/m}^2$  o más  $\pm 2\% \pm 1$  del valor mostrado (iluminante A medido a temperatura ambiente de 20 a 30° C. Factor de corrección con un ajuste de entrada numérico, rango 0,001 a 9 999, pantalla externa de 4 dígitos LCD con indicaciones adicionales, visor 4 dígitos LCD con retroalimentación LED y certificado de calibración vigente.

#### **4.1.16 Pruebas de verificación de los equipos de medición**

**4.1.16.1** Para la calibración o verificación de los equipos de medición de iluminación, debe hacerse en una unidad de verificación o laboratorio de prueba debidamente acreditado o reconocido por la autoridad competente.

**4.1.16.2** La unidad de verificación o laboratorio de prueba debe entregar el certificado de calibración o verificación contra un equipo patrón de acuerdo con la lista de chequeo exigida por la autoridad de metrología competente.

**4.1.16.3** La vigencia de los dictámenes emitidos por las unidades de verificación y los reportes de los laboratorios de prueba será las que determine la autoridad de metrología competente.

### **4.2 Requisitos de los productos de iluminación y alumbrado público**

#### **4.2.1 Requisitos generales de los productos de iluminación o alumbrado público**

##### **4.2.1.1 Disposición de información de productos**

- a) Toda información relativa al producto que haya sido establecida como requisito en el presente reglamento, incluyendo la relacionada con marcaciones, rotulados, debe ser verificada dentro del proceso de certificación del producto y los parámetros técnicos allí establecidos, deben ser

verificados mediante pruebas o ensayos realizados en laboratorios acreditados o reconocidos según la normatividad vigente.

- b) Adicional a la información exigida en el marcado y etiquetado de los productos, el fabricante, comercializador o importador deberá disponer para consulta del usuario la información de los parámetros del producto que se tratan en el presente reglamento. La información adicional, información de catálogos e instructivos de instalación, deberá ser veraz, verificable técnicamente y no inducir al error al usuario, las desviaciones a este requisito se sancionarán con las disposiciones legales o reglamentarias sobre protección al consumidor.

#### **4.2.1.2** Información sobre condiciones ambientales de servicio

- a) Los elementos que conforman un sistema de iluminación en especial los de alumbrado público para un área de influencia determinada deben estar especificados de acuerdo con las características ambientales del lugar donde se instalen. Los parámetros que el diseñador, operador o encargado del mantenimiento deben tener en cuenta para especificar los productos dentro de la realización de sus actividades, en la gestión de un sistema de iluminación, son:

- Ambiente. Tropical, salino, corrosivo, otros.
- Humedad relativa: mayor del %.
- Temperaturas: máxima, promedio mínima, (grados centígrados).
- Tipo de instalación: A la intemperie, aérea, ambiente peligroso, otros).

#### **4.2.2** Fuentes luminosas eléctricas

**4.2.2.1** Ensayos para soportar la certificación. La certificación de las fuentes objeto del presente reglamento, debe estar soportada en los resultados de los siguientes ensayos, los cuales deben ser realizados en laboratorios acreditados o reconocidos por los certificadores de acuerdo con las normas vigentes:

- Ensayo de encendido de la lámpara, en el caso de las lámparas de descarga en gas que requieren arrancador.
- Tiempo de estabilización.
- Envejecimiento.
- Características eléctricas de la lámpara.
- Ensayo de voltaje de extinción, en el caso de las lámparas de descarga en gas.

**4.2.2.2** Adicionalmente se deberá presentar los certificados de pruebas emitidos por un laboratorio independiente acreditado de los siguientes ensayos:

- Medición del flujo luminoso.
- Ensayo de torsión.

**4.2.2.3** Los fabricantes deben presentar la declaratoria de conformidad con la Directiva ROHS 2002/95/CE de restricción de ciertas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos o su equivalente.

#### **4.2.3** Lámparas de descarga de vapor de mercurio de alta presión

**4.2.3.1** El uso de lámparas de vapor de mercurio de alta presión en los nuevos sistemas de alumbrado público en el Ecuador está prohibido.

#### **4.2.4** Lámparas de halogenuros metálicos

- a) La vida promedio para lámparas de halogenuros metálicos no podrá ser menor a 12 000 horas.
- b) La eficacia de lámparas de halogenuros metálicos no podrá ser menor de 72 lm/W.

c) *Empaque*. En el empaque debe aparecer la información de los siguientes parámetros, los cuales deben haber sido verificados en el proceso de certificación:

- Potencia nominal (W).
- Tipo del casquillo.
- Forma del bulbo.
- Correlación de la temperatura del color (K).
- Índice del rendimiento del color.
- Acabado del bulbo.
- Flujo luminoso (lm).
- Vida promedio (horas).

d) *Marcación*. Sobre el bulbo de la lámpara deben aparecer marcadas, indelebles y perfectamente legibles, como mínimo las siguientes indicaciones:

- Marca registrada, logotipo o razón social del fabricante
- Potencia nominal en vatios (W)
- Código o modelo
- Año de fabricación
- Procedencia
- Método de arranque

**4.2.4.1 Normas utilizadas para los ensayos.** Para la verificación de los requisitos establecidos se podrán utilizar las NTE INEN vigentes, o normas internacionales, o de reconocimiento internacional, tales como:

- IEC. 61167. *Lámparas de vapor de mercurio y halogenuros.*
- ANSI C78.43 y C78.44.

#### **4.2.5 Lámparas de vapor de sodio alta presión**

- a) La vida promedio para lámparas de sodio de alta presión no podrá ser menor a 28 000 horas.
- b) Las lámparas de sodio alta presión deben cumplir con el trapecioide de funcionamiento de la lámpara definido en la norma técnica bajo la cual estén certificadas. Tales normas deben ser internacionales como la IEC 60662, o normas técnicas de reconocimiento internacional.
- c) Las eficacias de lámparas de sodio de alta presión no podrán ser menores a las establecidas en la tabla 3.

**TABLA 3. Eficacia mínima para las lámparas de sodio a alta presión.**

Potencia de la lámpara (W)	Eficacia inicial (lm/W)	
	Tubular	Ovoide clara
70	82	85
100	107	88
150	90	93
250	104	108
400	118	120
600	150	150
1 000	125	150

d) *Empaque*. Las lámparas de sodio de alta presión deben informar en su empaque los siguientes parámetros los cuales deben haber sido verificados en el proceso de certificación.

Adicional a la información en el empaque, el fabricante o comercializador dispondrá en catálogo impreso o en medio magnético, para consulta e información de los compradores o diseñadores, de las curvas de depreciación del flujo luminoso y de mortalidad de las lámparas:

- Potencia Nominal W.
- Flujo luminoso lm.
- Vida útil horas.
- Tipo de casquillo.
- Forma de bulbo.
- Acabado del bulbo.

e) *Marcación.* Sobre el bulbo de la lámpara deben aparecer marcadas, indelebles y perfectamente legibles, como mínimo las siguientes indicaciones:

- Marca registrada, logotipo o razón social del fabricante.
- Potencia nominal en vatios (W).
- Símbolo que indique el método de arranque (lámpara bajo europea).
- Año de fabricación.
- Procedencia.

f) No se podrá utilizar este tipo de lámparas donde la resolución o reproducción del color sea un factor determinante para la actividad realizada en el área iluminada, o para las características de objeto de la iluminación (fachadas y monumentos), en razón a que pueden distorsionar el color.

**4.2.5.1 Normas utilizadas para los ensayos.** Para la verificación de los requisitos establecidos en este reglamento se podrán utilizar NTE INEN vigentes, o normas internacionales, o de reconocimiento internacional, tales como:

- IEC 60662 *High pressure sodium vapour lamps.*
- ANSI C78.42.

**4.2.6 Otras fuentes luminosas.** El uso de otras fuentes tales como Lámparas de Inducción, LEDs, OLEDs, LEPs, etc., estará condicionada a los siguientes requisitos: a) cumplir con las regulaciones en cuanto a alta eficacia lumínica, b) cumplir los requisitos de seguridad contra riesgo de origen eléctrico o térmico, c) certificar el cumplimiento de estos requisitos mediante declaración del proveedor.

#### **4.2.7 Luminarias y proyectores**

**4.2.7.1 Luminarias.** Todas las luminarias para uso en alumbrado público e iluminación en general deben cumplir con los siguientes requisitos y demostrarlos mediante certificado de conformidad de producto:

- a) Las carcasas de luminarias en materiales no metálicos deben, durante el proceso de inyección, incorporar los colorantes y químicos que garanticen el color requerido, así como, la estabilidad al efecto de la temperatura, agentes contaminantes y los rayos ultravioleta.
- b) Ninguno de los elementos o partes de la luminaria deben presentar rebabas, puntos o bordes cortantes.
- c) En luminarias diseñadas para lámparas de vapor de sodio, el diseño del conjunto óptico debe limitar el aumento de voltaje durante la operación normal de acuerdo con la tabla 4.

**TABLA 4. Máximo aumento de tensión de la lámpara de sodio dentro de la luminaria**

Luminarias de Sodio (W).	Máximo aumento de tensión de la bombilla [V.].
<b>50</b>	<b>5</b>
<b>70</b>	<b>5</b>
<b>100</b>	<b>7</b>
<b>150</b>	<b>7</b>
<b>250</b>	<b>10</b>
<b>400</b>	<b>12</b>
<b>600</b>	<b>20</b>

- d) *Requisitos fotométricos.* Toda luminaria debe acompañarse de los siguientes documentos fotométricos: la curva isolux, la curva polar de intensidad luminosa y la matriz de intensidades referida a un tipo de coordenadas de acuerdo con el organismo internacional seleccionado, bien sea CIE o IESNA. En el laboratorio se harán los ensayos a la luminaria que permitan determinar y certificar los documentos anteriores y se deberá entregar también el diagrama polar para el plano de la curva de intensidad luminosa máxima.
- e) El ángulo de inclinación del conjunto óptico de la luminaria para la elaboración de la matriz de intensidades debe ser 0°. En caso de existir reglaje del portalámparas se debe indicar la posición del portalámparas dentro del conjunto óptico de la luminaria, al cual corresponde cada fotometría.
- Estos documentos deben ser los mismos que se usen para la certificación de producto.
- f) Los fabricantes y comercializadores de luminarias deben entregar adicionalmente la curva de coeficiente de utilización.
- g) En el caso de las luminarias de uso exterior se debe indicar el valor de Flujo Hemisférico Superior (FHS), que se define como el porcentaje (%) de flujo luminoso emitido por el equipo de iluminación por encima del plano horizontal, e indica el nivel de contaminación lumínica que produce el equipo con un ángulo de inclinación de 0°.
- h) Cuando se requiera probar la información fotométrica de una luminaria establecida en los documentos fotométricos, se debe determinar la forma de la distribución lumínica y la medida de las intensidades luminosas en cada punto alrededor de la fuente bajo prueba, utilizando el fotogoniómetro de un laboratorio acreditado o reconocido según las normas vigentes.
- i) *Eficiencia luminosa.* Las luminarias y proyectores de alumbrado público deben tener un conjunto óptico con una eficiencia de por lo menos el 60% del flujo luminoso emitido por la fuente luminosa.
- j) Las luminarias de alumbrado público, además de los anteriores, deben cumplir los siguientes requisitos:
- j.1) El tamaño de la carcasa debe garantizar que las temperaturas no lleguen a los valores críticos en las partes importantes de la lámpara, tales como el punto de unión entre el bulbo y el casquillo y no sobrepasen las temperaturas máximas de funcionamiento de los elementos que conforman la luminaria. Adicionalmente debe garantizar que no sobrepase el incremento de voltaje en bornes de la lámpara para sodio, según lo establecido por la norma IEC 60662 y que pueda afectar seriamente la vida útil de la misma.
- j.2) Los reflectores deben presentar un coeficiente de reflexión superior al 90 %, no deben ser pintados o esmaltados, ni planos.



- j.3) Los refractores deben presentar una superficie lisa externa, en ningún caso deben ser prismáticos exteriores, puesto que el factor de mantenimiento se eleva al favorecer la acumulación de sedimentos y partículas.
  - j.4) El refractor debe presentar las mejores características ópticas y ser adecuado para intemperie, resistente a cambios bruscos de temperatura, a altas temperaturas durante períodos prolongados (cristalización, rompimiento y amarillamiento).
  - j.5) Los refractores podrán ser en vidrio templado de seguridad o en policarbonato de alto impacto y con protección UV, tipo prismático y en vidrio liso templado de seguridad. En sistemas de alumbrado público no podrán usarse refractores o difusores ni protectores en acrílico.
  - j.6) El fabricante de las luminarias de alumbrado público debe efectuar la fotometría de la luminaria, de acuerdo con las diferentes posiciones de la lámpara dentro del conjunto óptico cuando exista reglaje. Las luminarias deben tener un soporte del portalámparas para permitir el fácil y seguro ajuste, así como, en los casos aplicables, deben contar con un mecanismo para la graduación de la lámpara dentro del conjunto óptico, –bien sea en sentido vertical, horizontal o en ambos-, que satisfaga la fotometría de la luminaria.
  - j.7) Las luminarias para alumbrado público con potencias superiores a 100 W requieren que el portalámparas esté ensamblado dentro de un dispositivo de reglaje, con posiciones bien definidas, que permita graduar la colocación de la lámpara dentro del conjunto óptico. El elemento que se utilice para establecer las posiciones del reglaje debe estar claramente identificado señalando los puntos específicos en el sentido que corresponda, al igual que asegurando su maniobrabilidad y fijación una vez se determine la posición de interés.
- k) Requisitos eléctricos y mecánicos de las luminarias y reflectores
- k.1) El conjunto eléctrico de la luminaria constituido por balasto, condensador, arrancador, bornera de conexiones y, en los casos aplicables, relé temporizador, fusibles, debe acoplarse en el interior del cuerpo de la luminaria mediante una placa y diseñarse para fácil montaje y desmontaje, inspección, limpieza, mantenimiento y reemplazo de sus elementos; para ello, todas las conexiones internas deben estar claramente identificadas con marcadores permanentes para cable.
  - k.2) El conjunto eléctrico debe cumplir con los requisitos de desempeño de las lámparas para las cuales está diseñada la luminaria.
  - k.3) Las conexiones eléctricas en las borneras y/o tornillos que se encuentren directamente en contacto con una conexión eléctrica (punto vivo) deben ser del tipo no ferroso o tener una protección contra la corrosión sin reducir la conductividad eléctrica.
  - k.4) En las luminarias y proyectores para alumbrado público la protección contra voltaje de contacto debe ser Clase I de acuerdo con clasificación dada en la Norma IEC 60598 o normas equivalentes.
  - k.5) Para las luminarias y proyectores usados en alumbrado de piscinas y fuentes de agua, la protección contra voltaje de contacto debe ser Clase III de acuerdo con clasificación dada en la Norma IEC 60598 o normas equivalentes.
  - k.6) Las luminarias usadas en alumbrado público, deben garantizar los índices mínimos señalados a continuación para el grado de hermeticidad y protección contra el impacto, el diseñador de acuerdo con las exigencias de desempeño y factores de mantenimiento especificará las necesidades para cada instalación en particular.
  - k.7) En luminarias para alumbrado público, el conjunto óptico debe tener un grado de hermeticidad IP no inferior a 65, de acuerdo a lo que se establece en la norma IEC 60598.

- k.8) En luminarias de alumbrado público, el conjunto eléctrico debe tener un grado de hermeticidad IP no inferior a 65, de acuerdo a lo que se establece en la norma IEC 60598-1.
- k.9) En las luminarias de alumbrado público el grado de protección contra el impacto debe ser IK  $\geq$  08.
- k.10) Para túneles, las luminarias como mínimo deben cumplir con el grado de hermeticidad de IP  $\geq$  65 y el grado de protección contra el impacto de IK  $\geq$  08 para la luminaria.
- k.11) Para proyectos ubicados en zonas de alta exposición al vandalismo, se podrán diseñar y proponer sistemas resistentes al vandalismo, tales como: tornillos, soldaduras, cinta BAND-IT (fleje de acero), candados, entre otros.
- k.12) Las luminarias de alumbrado público deben armonizar con el ambiente y entorno del sitio de instalación en cada municipio, sin desmejorar la eficiencia de las instalaciones de alumbrado público.
- k.13) El fabricante debe especificar las potencias y tipo de las lámparas a usarse con la luminaria.
- k.14) Los componentes de todo tipo de luminaria deben cumplir con la resistencia al quemado mediante el ensayo del hilo incandescente a 650° C tal como lo establece la norma IEC 60695-2-10, u otra norma equivalente. Las partes no metálicas de la luminaria que mantienen en posición partes eléctricas vivas susceptibles de incendio por cortocircuitos o sobre corrientes debe además cumplir con la resistencia a la llama mediante el ensayo de aplicación de la llama cónica, contemplado en las normas IEC 60695-11-5, UL 94, u otra norma equivalente.
- k.15) Las luminarias y proyectores, incluidas las de alumbrado público, con requisito protección contra voltaje de contacto Clase I, deben estar provistos, en su interior, de un terminal adecuado en contacto con el cuerpo de la luminaria para permitir su conexión a tierra, en forma tal que las partes conductoras accesibles no se vuelvan peligrosas en caso de falla del aislamiento básico.
- k.16) Las carcasas de los aparatos de alumbrado deben tener un espacio amplio para empalmes y conexiones y para la instalación de dispositivos, si los hay. Los compartimientos de los empalmes deben ser de material no absorbente ni combustible.
- k.17) En caso de ser requerido, los cables de conexión a la fuente de alimentación eléctrica deben tener los calibres y aislamientos apropiados para el tipo de carga, voltaje y temperatura, en ningún caso podrán ser de calibre inferior a 14 AWG.
- l) *Marcación.* Las luminarias deben ir marcadas en forma directa sobre el cuerpo o en una placa externa y/o interna de fácil visualización que no sea remachada y que garantice su permanencia e información durante la vida útil de la luminaria. La marcación debe ser en impreso indeleble o marcación láser e incluir la siguiente información en idioma castellano.

Placa interna:

- Código del proceso.
- Nombre del fabricante.
- Marca y modelo.
- Año de fabricación.
- Potencia y tipo.
- Conjunto óptico. IP =
- Conjunto eléctrico. IP =
- Voltajes de funcionamiento.
- Voltaje de ensamblaje.
- Frecuencia de operación.
- Fecha de vencimiento de la garantía del proveedor.

Placa externa:

- Potencia con números de color negro, plenamente legible desde el piso hasta la altura de montaje de la luminaria con fondo de acuerdo al siguiente código de colores:

Amarillo:	sodio
Celeste:	halogenuros metálicos
Naranja:	doble potencia
Blanco:	LEDs
Verde:	Inducción

En las luminarias para alumbrado público, las distribuidoras del servicio podrían solicitar que graben en la luminaria, la leyenda que indique el nombre o distintivo de la distribuidora.

Productos marcados con el nombre o distintivo de la distribuidora, no podrán ser comercializados para usuarios distintos, al menos que tenga el permiso de quien aparezca en la marcación, quien tenga conocimiento del hecho deberá informar a quien aparezca en la marcación, quien deben informar del hecho a las autoridades competentes para el control y vigilancia del presente reglamento.

La información técnica que debe ir grabada en cada uno de los elementos que conforman el conjunto eléctrico, se relacionan en las especificaciones de cada componente.

La luminaria debe incluir un diagrama de conexiones eléctricas internas, legible y que se conserve durante la vida útil de la misma.

- m) La pintura del cuerpo de la carcasa metálica deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- Tipo: en polvo, electrostática, horneable para uso a la intemperie
- Espesor mínimo de la capa de pintura: 40 micras
- Coeficiente de adherencia de la pintura: 85 %

**4.2.7.2 Requisitos de instalación**

- a) Las luminarias de lámparas de descarga de alta intensidad que se instalen empotradas, deben estar protegidas térmicamente y estar así identificadas. Cuando estas luminarias están operadas por un balasto a distancia, tanto si están empotrados como si no lo están, el balasto también debe estar térmicamente protegido. Se exceptúan las luminarias de lámparas de descarga de alta intensidad empotradas, identificadas para ese uso e instaladas en concreto vertido. La protección térmica que se exige en el Artículo 410-73 del Código Eléctrico Nacional, se puede lograr por medios distintos a protectores térmicos.

- b) Los aparatos de alumbrado deben estar instalados de tal manera que los casquillos roscados de los portalámparas estén conectados al mismo conductor del circuito o terminal del aparato.

Cuando esté conectado al casquillo de un portalámparas, el conductor de puesta a tierra se debe conectar a la parte roscada del casquillo.

- c) La luminaria o proyector debe tener la siguiente protección de los conductores y los aislamientos del alumbrado de las luminarias:

- Los conductores deben estar bien sujetos de modo que no se produzcan cortaduras ni abrasión del aislamiento.
- Cuando los conductores pasen a través de metales se debe proteger su aislamiento contra la abrasión.
- En los brazos o mangos de los aparatos de alumbrado no debe haber empalmes o conexiones.

— Los conductores se deben instalar de modo que el peso del aparato de alumbrado o sus partes móviles no los someta a tensión mecánica.

**4.2.7.3 Pruebas de las luminarias.** Las luminarias deben ser sometidas a los siguientes ensayos, para lo cual se utilizarán las normas técnicas referidas o su equivalente en normas internacionales o de reconocimiento internacional aplicables a este tipo de productos.

Los laboratorios en donde se realicen las diferentes pruebas o ensayos, deben ser debidamente acreditados con la certificación ISO/IEC 17025, cuyo organismo de acreditación sea reconocido por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano (OAE).

- a) Fotometría.
- b) Revestimiento anodizado de los reflectores de aluminio, para luminarias de uso exterior (Espesor mínimo de 5 micras en las superficies lisas y planas y la prueba de continuidad con lámpara incandescente).
- c) Hermeticidad según IP que aplique.
- d) Resistencia mecánica (energía de impacto y compresión), bajo norma IEC 62262 o normas equivalentes.
- e) Ensayo de temperatura (Calentamiento), cuando aplique.
- f) Protección Ultravioleta (será exigible en la medida que se tengan laboratorios para su realización).
- g) Resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica.
- h) Incremento de voltaje en bornes de la boquilla en luminarias con lámparas de sodio.
- i) Resistencia al fuego.
- j) Vibración y adherencia de la pintura.

**4.2.7.4 Normas utilizadas para los ensayos.** Para la verificación de los requisitos establecidos se podrán utilizar las NTE INEN vigentes, normas internacionales o equivalentes, tales como:

IEC 60529 *Degree of protection by enclosures [IP Code].*

IEC 60598 1-2-3 *Luminaires for road and street lighting. Particular requirements.*

IEC 62262 *Grados de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos (código IK).*

IEC 60662 *Lámparas a vapor de sodio de alta presión.*

**4.2.7.5 Inspección visual de luminarias.** Se debe verificar el contenido de la placa de características para la luminaria y cada uno de los accesorios eléctricos (balasto, condensador, arrancador y tipo de conductores), accesorios mecánicos (soportes, tornillos, arandelas), material de refractor, reflector, carcasa, plato de montaje, portalámparas, alambrado, acoples, borneras y terminales, uniformidad del abrillantado, sistema de fijación y montaje, sistema de cierre y otras observaciones que se pueden hacer acerca de las características de la luminaria.

**4.2.7.6 Ensayos al conjunto eléctrico de luminarias para alumbrado público**

- a) Los ensayos de los balastos se deben realizar en laboratorios debidamente acreditados según las leyes vigentes en Ecuador y de acuerdo con los parámetros establecidos en la norma IEC 60923 o normas internacionales equivalentes.
- b) Los ensayos para la verificación del grado de hermeticidad IP y el grado de protección contra el impacto IK se deben realizar en laboratorios debidamente acreditados, según las leyes vigentes.

#### 4.2.7.7 Proyectores

- a) Para los documentos fotométricos de proyectores se utilizará el sistema de coordenadas rectangulares.
- b) Al igual que en las luminarias, para los proyectores se debe cumplir cada uno de los apartes contemplados 4.2.7 del presente reglamento, tales como: el contenido de la placa de características para proyector, pruebas fotométricas y las pruebas de cada uno de los accesorios eléctricos (balasto, condensador, arrancador y tipo de conductores), accesorios mecánicos (soportes, tornillos, arandelas), material de refractor, reflector, carcasa, plato de montaje, portalámparas, alambrado, acoples, borneras y terminales, uniformidad del anodizado y abrillantado, sistema de fijación y montaje, sistema de cierre y otras observaciones que se pueden hacer acerca de las características de la luminaria.
- c) El sistema de fijación de los proyectores debe contar con elementos de graduación vertical y horizontal, que permitan una orientación y fijación adecuada a las condiciones del espacio y a los requerimientos fotométricos de la aplicación específica.
- d) Adicionalmente, se debe explicar el manejo del reglaje en las diferentes posiciones, en relación con el comportamiento fotométrico, para satisfacer los requerimientos establecidos en el diseño.

#### 4.2.8 Balastos

**4.2.8.1** Los balastos deben cumplir los siguientes requisitos y demostrarlo mediante certificado de producto.

- a) Los balastos pueden ser electromagnéticos o electrónicos.
- b) El Factor de cresta debe medirse, analizando la corriente de la lámpara y su valor deberá ser inferior o igual a los definidos en la tabla 5 (ref. IEC 60923) (ver nota 7).

**TABLA 5. Máximo factor de cresta admitido para un balasto, según los tipos de lámpara**

Tipo de lámpara	Factor de cresta máximo
Vapor de mercurio alta presión	1,8
Vapor de sodio alta presión	1,6
Vapor de halogenuros metálicos	1,8
Vapor de sodio alta presión	1,8

**4.2.8.2** Para evaluar la capacidad de regulación<sup>2</sup> del balasto, se deben medir las potencias de la lámpara a la tensión mínima, a la tensión nominal y a la máxima permisible según su diseño. Después se relacionan de la siguiente forma (ver nota 8):

$$\text{- Regulación.} = \left(1 - \frac{\text{Potencia de la bombilla (a tensión de línea mínima).}}{\text{Potencia de la bombilla (a tensión de línea nominal).}}\right) * 100 [\%].$$

$$\text{+ Regulación.} = \left(\frac{\text{Potencia de la bombilla (a tensión de línea máxima).}}{\text{Potencia de la bombilla (a tensión de línea nominal).}} - 1\right) * 100 [\%]$$

NOTA 7. Es la relación que existe entre el valor pico y el valor eficaz (rms) de la onda de corriente de la lámpara. Es la característica del balasto más estrechamente relacionada con la duración de lámpara. El factor de cresta de una onda sinusoidal perfecta es 1,4; a medida que este factor aumenta en la onda de corriente de la lámpara, la calidad del balasto es menor.

NOTA 8. Regulación de potencia. Es la habilidad que tiene el balasto para controlar la potencia de la lámpara, con los cambios de tensión que se presentan en la línea de alimentación.

- a) *Factor de potencia.* Es la relación entre la potencia de entrada a la luminaria (potencia suministrada a la lámpara más la potencia consumida por el propio conjunto eléctrico) y el producto del voltaje por la corriente de entrada. A partir de la entrada en vigencia del presente reglamento, no se permitirá la comercialización y uso de conjunto eléctrico de luminarias con factor de potencia inferior a 0,92.
- b) *Sostenimiento del arco en las lámparas HID con disminución de la tensión de la red.* El balasto debe mantener las lámparas en operación, con disminuciones repentinas del voltaje de la red, con duración inferior a 4 segundos.
- c) *Ruido.* Generado por vibración que se produce en las láminas del núcleo, por el campo magnético y sus variaciones. El nivel de ruido, en principio, dependerá de la forma de construcción y de la calidad del balasto, sin embargo, también influirá el sistema de fijación de éste a la luminaria. En un plazo no mayor de 2 años se deberá establecer la normatividad técnica aplicable al caso.
- d) *Aislamiento Eléctrico.* Desde el punto de vista de aislamiento, las bobinas de los balastos deben presentar una resistencia de aislamiento de 2 megohmios entre el devanado y el núcleo o la cubierta metálica exterior y deben poder soportar un voltaje de ensayo de dos veces el voltaje de trabajo más alta para la cual está diseñado, más 1 000 V ( $2 V_n + 1\ 000$ ), a frecuencia industrial durante un minuto. (Ref. IEC 61347 o 60922).
- e) *Temperatura máxima de operación ( $t_w$ ).* Las características térmicas de los balastos están especificadas por la máxima temperatura de operación del bobinado y debe ser establecida por el fabricante. Esta temperatura no debe ser sobrepasada para asegurar el cumplimiento de la vida útil del balasto.
- f) Todos los balastos deben tener rotulado el valor de  $t_w$  es decir, la temperatura de operación nominal máxima del bobinado o temperatura máxima hasta la cual se garantiza el funcionamiento nominal del balasto.
- g) La vida útil de los balastos debe ser de mínimo igual a 10 años en trabajo continuo. El fabricante especificará las condiciones de garantía. Para evaluar este requisito se podrán aplicar los métodos de ensayo de las Normas IEC 61347 o 60922-23, NTE INEN vigentes o normas de reconocimiento internacional equivalentes.
- h) Para balastos electromagnéticos de lámparas de descarga de alta intensidad (HID) el  $t_w$  mínimo debe ser de 130 °C.

**4.2.8.3** En balastos electromagnéticos el alambre esmaltado de cobre de la bobina debe poder soportar la temperatura máxima de trabajo para la cual ha sido diseñado el balasto, de acuerdo con la clasificación establecida en las normas IEC 60923 y 61347-2-9 u otras internacionales, o de reconocimiento internacional equivalentes.

#### **4.2.9** *Balastos electromagnéticos.*

##### **4.2.9.1** *Balastos para lámparas de descarga de alta intensidad (HID).*

- a) Los balastos para las lámparas de sodio deben cumplir con los siguientes rangos de regulación de potencia:
  - Los balastos tipo reactor deben garantizar que variaciones de voltaje de entrada (voltaje de red) entre  $\pm 5\%$ , generen como máximo una variación del  $\pm 12\%$  en la potencia nominal suministrada a la lámpara (ver norma ANSI C 82-4).

- Los balastos tipo CWA deben garantizar que variaciones de voltaje de entrada (voltaje de red) entre  $\pm 10\%$  generen como máximo una variación del  $\pm 5\%$  en la potencia nominal suministrada a la lámpara.
- b) Curvas trapezoides. Los balastos para las lámparas de sodio alta presión deben indicar para qué trapezoides de funcionamiento de la lámpara, definidos en norma técnica, cumplen. Tales normas deben ser internacionales como la IEC 60662, ANSI serie C-78, de reconocimiento internacional. Para el efecto se deben determinar tres curvas características del balasto que indican la variación de la potencia de la lámpara, las cuales se deben construir para el voltaje nominal de línea y para los dos valores extremos de voltaje aceptados como variación, dependiendo del tipo de balasto. Es decir  $\pm 5\% V_n$  para el balasto tipo reactor y  $\pm 10\% V_n$  para el balasto tipo CWA.
- c) Durante la vida de la lámpara, la curva de la característica típica del balasto debe estar dentro de los límites especificados por el trapezoide, para la tensión y potencia de la lámpara. Por lo tanto, el fabricante o comercializador del balasto debe poner a disposición del usuario, las curvas del comportamiento del balasto dentro del trapecio definido para la potencia de lámpara. No aplica para la potencia reducida de los balastos doble potencia.
- d) Los balastos tipo CWA (Constant Wattage Autotransformer) para lámparas de sodio, o se podrán usar cuando las variaciones del voltaje de la red de alimentación, superen los valores de operación para el balasto tipo reactor ( $\pm 5\%$  voltaje nominal).
- e) Los voltajes de lámparas de sodio de alta presión que se podrán comercializar en el país y las máximas pérdidas permitidas en los balastos son las establecidas en la tabla 6.

**TABLA 6. Pérdidas máximas aceptadas en los balastos para lámparas de sodio**

Lámpara de sodio	Voltaje de la lámpara (V)	Pérdidas máximas balastos reactor (W)	Pérdidas máximas balastos CWA (W)
70	90	11	
100	90	15	
150	100	19	40
250		29	45
400		40	70
1 000	250	100	119

- f) *Marcación*. Los balastos deben tener un rotulado legible y durable de identificación, con la siguiente información:
  - Potencia nominal W.
  - Diagrama de conexiones.
  - Voltajes de conexión V.
  - Temperatura nominal máxima del bobinado [tw] \_\_\_\_ °C.
  - Corriente nominal de la lámpara A.
  - Marca de fábrica.
  - Tipo de balasto.
  - Modelo y referencia.
  - Voltaje de la lámpara V.
  - Mes y año de fabricación.
  - Identificación de terminales.

- Frecuencia Hz.
- Valor de pérdidas máximas W.

#### **4.2.10** *Balastos electrónicos (equipo electrónico)*

**4.2.10.1** Se conoce como balasto electrónico aquel dispositivo que contiene todos los elementos que se requieren para el encendido y control de una lámpara.

**4.2.10.2** Los balastos electrónicos en comparación con los electromagnéticos presentan ventajas como: menores pérdidas, pueden aumentar la vida útil de la lámpara; poseen encendido instantáneo, alto factor de potencia y filtros de entrada que limitan y mantienen el nivel de armónicos.

Los balastos electrónicos deben cumplir con los siguientes requisitos:

- a) El factor de cresta no debe ser mayor al estipulado en la tabla 5.
- b) El factor de balasto debe ser mayor o igual al estipulado en la tabla 6.
- c) La contaminación por distorsión armónica total de corriente no debe ser mayor al 32% (THD  $\leq$  32%), según norma NMX -J- 513, medidas a voltaje de línea nominal.
- d) Los balastos electrónicos que no dispongan de filtros para reducir la radio interferencia, deben ser ensamblados o encapsulados dentro de una caja metálica.
- e) *Marcación.* Los balastos deben tener un rotulado legible y durable de identificación, con la siguiente información:
  - Potencia nominal W.
  - Diagrama de conexiones.
  - Voltajes de conexión V.
  - Temperatura nominal máxima del bobinado [tw] \_\_\_\_ °C.
  - Corriente nominal de la lámpara A.
  - Marca de fábrica.
  - Tipo de balasto.
  - Modelo y referencia.
  - Voltaje de la lámpara V.
  - Mes y año de fabricación.
  - Identificación de terminales.
  - Frecuencia Hz.
  - Valor de pérdidas máximas W.

**4.2.10.3** *Normas para los ensayos.* Para la verificación de los requisitos establecidos se podrán utilizar normas NTE INEN vigentes, o normas internacionales, o de reconocimiento internacional, o normas nacionales de otros países equivalentes, tal como:

IEC 61347 *Requerimientos para balastos electrónicos*

#### **4.2.11** *Arrancadores (ignitores) para lámparas de descarga en gas*

**4.2.11.1** Los arrancadores para lámparas de descarga en gas deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) El arrancador debe ser encapsulado, cumplir con normas internacionales tales como IEC 61347 e IEC 60927, o normas de reconocimiento internacional y debe ser apto para instalarse después del balasto. Se debe tener en cuenta los requisitos principales de estas normas.
- b) Las características técnicas que deben cumplir los arrancadores para lámparas HID, son:
  - b.1) Ser del tipo encapsulado, los no metálicos se deben fabricar en un material auto extingible probado de acuerdo con la norma IEC 60695-2-1 o la UL 94 Categoría V2.

- b.2) Las partes externas de material aislante que proveen protección contra choque eléctrico deben ser sometidas durante un período de 30 s al ensayo de filamento incandescente, de acuerdo con la norma IEC 60695 - 2- 1, la temperatura de la punta del filamento incandescente será de 650 °C.
- b.3) Cualquier llama o incandescencia del espécimen se extinguirá dentro de los 30 s después de retirar la punta del filamento y cualquier llama que caiga no encenderá una pieza de 5 capas de papel de seda especificado en el numeral 6.8.6 de la norma ISO 4046, extendido horizontalmente: 200 mm  $\pm$  5 mm debajo del prototipo bajo ensayo.
- b.4) Las partes de material aislante que mantienen en posición las partes vivas deben someterse al ensayo del quemador de aguja según la norma IEC 60695-2-1, teniendo en cuenta que el elemento de prueba es un arrancador completo. Si es necesario retirar ciertas partes del arrancador para realizar el ensayo, se debe vigilar que las condiciones de ensayo no se alejen de manera significativa de aquellas que existen en uso normal.
- b.5) La llama de ensayo se aplica en el centro de la superficie sometida a ensayo. La duración de aplicación es 10 s.
- b.6) Cualquier llama auto sostenida debe extinguirse durante los 30 s siguientes a la retirada de la llama de ensayo, y ninguna gota debe inflamarse un trozo de papel de seda especificado en el numeral 6.86 de la norma ISO 4046 e instalado horizontalmente a 200 mm por debajo del espécimen bajo ensayo.
- c) Se podrán utilizar arrancadores tipo superposición o serie, paralelo, impulsador o semiparalelo; y para lámparas a vapor de sodio de Alto Flujo Luminoso (HLO) se podrá usar ignitor tipo superposición y en el caso de ser usado tipo paralelo, deberá poseer un sistema de parada automática del tren de pulsos, que garantice el encendido óptimo de todas las lámparas que cumplan con la norma IEC 60662.
- d) No deben tener restricción alguna con respecto a su posición de operación.
- e) Deben estar diseñados para soportar temperaturas desde  $-10^{\circ}\text{C}$  hasta  $+90^{\circ}\text{C}$  sin que se afecte su normal funcionamiento.
- f) Los terminales deben ser del tipo cable de 20 cm de largo con los extremos estañados, con aislamiento mínimo de  $105^{\circ}\text{C}$  y 600 V. Deben ser diseñados de forma que se garantice una buena conexión eléctrica y que además sean mecánicamente seguros. Se aceptan terminales tipo bornera, siempre que las conexiones sean seguras.
- g) El arrancador debe tener claramente identificados y de manera permanente sus terminales de conexión.
- h) Deben presentar una resistencia de aislamiento no menor de 2 M $\Omega$ .
- i) Deben soportar una tensión de  $2 V_n + 1\ 000\ \text{V}$ , entre terminales durante un (1) minuto.
- j) El pulso generado por el arrancador, debe tener la energía necesaria (altura, ancho, posición y repetición) para garantizar:
  - j.1) Un arranque rápido y confiable de la lámpara.
  - j.2) Un correcto encendido de las lámparas en el encendido en frío y reencendido en caliente.
  - j.3) Para garantizar el arranque cuando se utilizan lámparas halogenuros metálicos, se deben identificar las características particulares de la lámpara, puesto que para la línea europea, éstas varían de un fabricante a otro para la misma referencia de potencia. Para la práctica americana, en algunas lámparas de halogenuro metálico de nueva tecnología se requiere de arrancador.

- k) En todos los casos, los arrancadores deben garantizar el encendido de lámparas de alto flujo luminoso de sodio o identificadas como lámparas nueva generación. El pulso de voltaje producido por el arrancador debe cumplir con las características señaladas en la tabla 7.
- l) La temperatura máxima de funcionamiento del arrancador es 90° C.
- m) El número de pulsos (norma IEC 61347 y 60927).

**TABLA 7. Características de los arrancadores para lámparas de sodio de alta presión**

Bombillas de sodio alta presión.	Pulso [kV].		Tasa de repetición del pulso.	Tiempo de duración del pulso
	Mínimo.	Máximo.	Por ciclo	Microsegundos
50 W	1,8	2,5	2	2
70 W	1,8	2,5	2	2
100 W	2,8 / 2,5	5,0 / 4,0	2	1
150 W	2,8 / 2,5	5,0 / 4,0	2	1
250 W	2,8 / 2,5	5,0 / 4,0	2	1
400 W	2,8 / 2,5	5,0 / 4,0	2	1
600 W	3,0	5,0	2	1
1.000 W	3,0	5,0	1	1

- n) *Marcación.* Los arrancadores deben tener un rotulado legible y durable de identificación, con la siguiente información:
- Rango de potencias.
  - Voltaje de alimentación.
  - Marca de fábrica.
  - Modelo y referencia.
  - Frecuencia.
  - Mes y año de fabricación o código del fabricante.
  - Identificación de terminales.
  - Corriente máxima (arrancadores de superposición).
  - Diagrama de conexiones.
  - Temperatura máxima de operación.
  - Pulso.

**4.2.11.2 Normas utilizadas para los ensayos.** Para la verificación de los requisitos establecidos se podrán utilizar las NTE INEN vigentes o normas internacionales, o de reconocimiento internacional, o normas nacionales de otros países equivalentes, tales como:

IEC 61347 *Starting devices (other than glow starters). General and safety requirements.*

IEC 60927 *Starting devices (other than glow starters). Performance requirements.*

**4.2.12 Condensadores para conjunto eléctrico de lámparas de descarga en gas.**

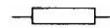
- a) El condensador debe mantener una alta estabilidad de su capacitancia ante la ocurrencia de sobrevoltajes, debe soportar picos de sobrevoltajes hasta 2,15 (no auto-regenerados) ó 2,0 (auto regenerados) veces su voltaje nominal aplicado entre terminales durante 60 segundos, sin sufrir daños.

- b) Igualmente, el condensador debe soportar durante 60 segundos, entre terminales unidos y carcasa, un voltaje de 2 000 V (eficaces) para condensadores con voltaje nominal hasta 250 V y 2 500 V (eficaces) para condensadores de voltaje nominal mayor a 250 V.
- c) Para luminarias con balasto tipo reactor de 120 V el voltaje nominal del condensador será  $\geq 250$  V. Para luminarias con balasto tipo reactor desde 208 – 240 V, el voltaje nominal del condensador será  $\geq 330$  V.
- d) El condensador utilizado en alumbrado público debe ser del tipo seco o aislado en aceite (no PCB) y debe tener una tolerancia en el valor de su capacitancia, de  $\pm 3\%$  para balastos CWA y hasta  $\pm 5\%$  para balastos tipo reactor.
- e) El cambio del valor de capacitancia con variaciones de temperatura entre 23 °C y 0 °C, debe estar dentro del rango de + 2% a – 5% y para un cambio de temperatura de 23 °C a 90 °C debe estar dentro de un rango de + 2% a – 7%.
- f) El factor de disipación no debe exceder el 0,1%, con su voltaje nominal y a cualquier temperatura entre los 23 °C y 90 °C.
- g) Los condensadores deben ser aptos para trabajar durante períodos prolongados a un voltaje que no exceda el 110% de su voltaje nominal, dentro de las temperaturas admisibles. Este requisito de vida útil deberá ser evaluado conforme a la norma IEC 61049 u otra norma equivalente.
- h) Los condensadores deben tener internamente una resistencia de descarga entre terminales, que garanticen un voltaje en bornes del condensador de 50 voltios o menos, después de un (1) minuto de haber desconectado la fuente de alimentación.
- i) Los condensadores que poseen terminales para su conexión, deben soportar un torque de 0,34 N·m y una fuerza de compresión axial y tensión de halado de 20 N, sin sufrir daño.
- j) *Marcación.* Los condensadores deben tener un rotulado legible y durable de identificación, con la siguiente información:

- Capacitancia.
- Temperatura mínima de operación.
- Tolerancia.
- Marca de fábrica.
- Voltaje.
- Modelo y referencia.
- Frecuencia.
- Mes y año de fabricación.
- Temperatura máxima de operación.

Adicionalmente, la marcación de los condensadores debe contener los símbolos que se explican a continuación:

— Cuando sea instalada una resistencia de descarga, el símbolo



— Cuando sea instalado un fusible, el símbolo



— Si el condensador es auto-regenerable, el símbolo



— Si un condensador no auto-regenerable se destina exclusivamente para funcionar en serie, el símbolo



- k) El rango de temperaturas admisibles del condensador estará entre -25 °C a + 90° C

l) La vida útil del condensador debe ser  $\geq 30\ 000$  horas. (Norma IEC 61049)

**4.2.12.1 Normas utilizadas para los ensayos.** Para la verificación de los requisitos establecidos se podrán utilizar las NTE INEN vigentes, o normas internacionales, o de reconocimiento internacional que sean equivalentes tales como:

IEC 61048 *Capacitors for use in tubular fluorescent and other discharge lamp circuits. Performance requirements.*

IEC 61049 *Capacitors for use in tubular fluorescent and other discharge lamp circuits. General and safety.*

#### **4.2.13 Portalámparas**

##### **4.2.13.1 Portalámparas para alumbrado público**

- a) Los portalámparas para HID utilizados deben contar con rosca tipo Edison iridizada o niquelada, según Norma ASTM B-88. Debe ser apropiado para roscar un casquillo tipo E27/E26 para lámparas menores a 100 W y tipo Mogul (E39) para lámparas de mayores o iguales potencias. El portalámparas Mogul ó E39 permite roscar tanto las lámparas americanas de casquillo Mogul (E39), como las lámparas europeas de casquillo E40.
- b) El material utilizado para su producción y recubrimiento puede ser de níquel bicromatizado. No se aceptan portalámparas cadmiados.
- c) En las luminarias de sodio de 150 W a 1 000 W , la fijación del portalámparas debe permitir ajuste y graduación –bien sea en sentido vertical, horizontal o en ambos-, sin que la lámpara quede sometida a vibración, al menos para tres posiciones (reglaje). En las luminarias de sodio 100 W el reglaje del portalámparas es opcional. En cualquier caso, la posición de la lámpara con respecto al reflector, de acuerdo con el reglaje, debe estar determinada y ajustada por el fabricante en cumplimiento de los parámetros del diseño particular.
- d) Este soporte debe poseer un sistema de marcación que permita conocer la posición de la lámpara y reproducir a voluntad la distribución garantizada. Adicionalmente, se debe explicar el manejo del reglaje en las diferentes posiciones, en relación con el comportamiento fotométrico de la luminaria, para satisfacer los requerimientos establecidos en el diseño. Igualmente, el elemento de soporte del portalámparas debe ser suficientemente seguro para impedir desajuste o descalibración de la posición de la lámpara debido a los movimientos y vibración a que está sometida durante el transporte, montaje y operación.
- e) Los bornes para sujeción del cable deben permitir la fijación de cables siliconados aislados hasta 14 AWG, 200 °C y 600 V. El contacto central del portalámparas debe estar conectado al conductor que suministra el pulso de voltaje del arrancador y debe estar sometido a presión.
- f) El portalámparas debe estar diseñado para que cumpla con los ensayos de calentamiento y nivel de aislamiento especificado en normas internacionales, o de reconocimiento internacional equivalentes. Así mismo, debe cumplir con los requisitos de seguridad respecto al voltaje de encendido, junto con las distancias mínimas de partes activas, por aire y por la superficie (Norma IEC 60598, equivalente a la EN 60598-1)
- g) La base que contiene los elementos metálicos de contacto deberá ser fabricada en porcelana eléctrica, de superficie homogénea, libre de porosidades y agrietamiento, aislada para una tensión nominal de 600 V y que evite el contacto con el casquillo de la lámpara.
- h) Toda la tornillería y elementos metálicos complementarios deben ser protegidos mediante un proceso de baño electrolítico.
- i) La especificación del pulso de prueba que soporta el portalámparas para lámparas de vapor de sodio alta presión (según UL- Listed E 13 402), debe indicarse mediante marcación indeleble en

parte exterior de su cerámica. Los valores del pulso deben ser 2,5 kV para E27/E26 y 5kV para MOGUL E39 o E40.

j) El portalámparas deberá soportar pulsos provenientes del arrancador sin ningún desperfecto.

#### **4.2.14 Foto controles y bases para foto control.**

**4.2.14.1 Requisitos de producto y de instalación.** Los foto controles deben cumplir los siguientes requisitos:

a) La base tripolar para montar el foto control debe cumplir con las especificaciones señaladas a continuación adaptadas de la normas ANSI C136-10, UL 773, o normas internacionales, o de reconocimiento internacional equivalentes.

a.1) Se define como foto control tipo fail off, aquel que está diseñado para mantener la carga apagada cuando la falla más común suceda.

a.2) Se define como foto control fail on, aquel que está diseñado para mantener la carga encendida cuando la falla más común suceda.

a.3) La vida útil del foto control bajo condiciones normales de funcionamiento debe sobrepasar las 3.600 operaciones, siendo cada operación el ciclo completo conexión-desconexión en condiciones nominales de funcionamiento.

a.4) Los foto controles y bases deben, ser resistente a los impactos, rayos del sol, agua, salinidad y deshechos de animales y cumplir las siguientes pruebas.

— Operación: de 2 a 5 operaciones de conexión y desconexión, conexión entre 10 a 22 luxes, desconexión con 65 o más luxes. (ANSI C 136.10).

— Temperatura de operación, mínima -10 °C y Max 65 °C.

— La duración de los contactos no debe ser menor a la que soporte un cortocircuito con la carga de un condensador en las siguientes condiciones, 40 µF cargado al voltaje de 120 VAC, 20 µF cargado al voltaje de 240 V AC o 10 µF cargado al voltaje de 480 V AC.

— Rango del voltaje de operación. control múltiple 105 a 130 V, control individual 185 a 305 V o 105 a 305 V.

— El número de operaciones no debe ser menor a 5 000 con una lámpara incandescente de 1000 W a 120 V.

— La capacidad de carga será de 1 000 W o de 1 800 VA.

— El Grado de protección IP o su equivalente NEMA no debe ser menor a 53 y el IK no menor a 08.

— El foto control debe contar con protección de sobrevoltajes DPS para una energía no menor a 360 J.

— Los contactos de la base del foto control debe ser de material como latón o su equivalente con recubrimiento de plata o estaño y soportar una corriente no menor de 15 A.

— El aislamiento de las parte conductoras no debe ser menor a 5 M Ω y debe soportar durante un minuto un voltaje de 2500V a 60 Hz, o 500V DC.

— Las puntas de conexión deben ser de 60 cm para bases externas y 30 cm para bases internas, con conductores flexibles 14 AWG aislados a 600 V, clase térmica 105 °C.



- a.5) El receptáculo de conexión o base debe ser de resina fenólica tipo “baquelita” o de otro material equivalente. Debe cumplir con los requisitos establecidos en las normas ANSI C136.10 y UL 773 o una norma internacional equivalente.
- a.6) Si la base se instala dentro de la luminaria, ésta se fijará al cuerpo de la luminaria en la parte superior, mediante tornillos de cabeza cónica o pisador con tornillo central que no sobresalgan a ella y puedan llegar a deteriorar la empaquetadura del foto control. El sistema de fijación deberá estar diseñado de tal forma que al quedar instalada la base en la luminaria, ella pueda girarse sobre su eje vertical entre 0° y ± 180° para permitir la orientación del dispositivo de foto control sin necesidad de utilizar alguna herramienta especial.
- a.7) Los contactos de conexión del receptáculo deben estar fabricados en material resortado. Deben ser del tipo trinquete y estar configurados y alineados de tal forma que coincidan y ajusten de la mejor manera posible con los contactos del dispositivo de foto control, garantizando una excelente conexión eléctrica y mecánica.
- a.8) Para todos los casos (bases internas y externas), las puntas de conexión se identificarán por colores, así, negro fase, blanco fase común con la carga para el neutro y rojo para la carga.
- a.9) *Marcación.* Se requiere que los foto controles y las bases para los mismos tengan grabada, en forma durable la siguiente información:

En la tapa superior:

- Identificación del norte.
- Sentido de remoción del control y.
- Marca de fábrica.

En la base inferior:

- Marca indeleble de calendario de control de instalación.
- Identificación de los contactos.
- Con autoadhesivo el tipo de contacto.
- Condición de operación en caso de falla.
- Protección.
- Modelo y referencia.
- Potencia activa / aparente de la carga.
- Marca de fábrica.
- Rango de voltajes de operación.
- Frecuencia.
- Mes y año de fabricación.
- Identificación de los contactos.

El receptáculo o base para foto controles debe llevar una marca de forma permanente y legible, mínimo con la siguiente información:

- Corriente máxima de operación.
- Marca de fábrica.
- Identificación de los contactos.
- Modelo y referencia.

- b) Los foto controles serán instalados cuando el diseñador encuentre que este sistema resulta operativo.
- c) En alumbrado público se usará en luminarias de sodio y halogenuros metálicos como control individual y/o en conjunto con contactores para control múltiple.

- d) Dentro del propósito de uso racional de energía, se puede utilizar foto controles temporizados en lugares específicos.
- e) Por razones ecológicas y medioambientales, no se acepta la utilización de foto controles con foto celda con resistencia de sulfuro de cadmio (CdS), en su reemplazo deben usarse fototransistores de silicio.

**4.2.14.2 Normas utilizadas para los ensayos.** Para la verificación de los requisitos establecidos se podrán utilizar las NTE INEN vigentes, o normas internacionales, de reconocimiento internacional que sean equivalentes tales como:

*ANSI C 136-10 For physical and electrical interchangeability of photocontrol devices, plugs, and mating receptacles used in roadway lighting equipment.*

*ANSI IEEE STD 428 Thyristor AC power controllers, definitions and requirements.*

*NBR 5123 Relé fotoeléctrico y bases para Iluminación Pública. Especificación y métodos de ensayo.*

#### **4.2.15 Equipos de control para alumbrado**

**4.2.15.1** El equipo de control de alumbrado estará conformado de los siguientes elementos: contactor, cofre o caja metálica, interruptor termomagnético, base receptáculo para fotocélula (ubicada en la parte superior de la caja), y borneras de conexión:

- a) El contactor debe cumplir con los requisitos eléctricos y de seguridad del numeral establecido en la Norma ANSI-Standard 28. El contactor deberá ser de clase AC3.
- b) Normalmente debe estar en un cofre o caja de lámina de acero de un espesor de 0,8 mm pintada con dos capas de pintura anticorrosiva color naranja, tratamiento fosforizado anticorrosivo, o cualquier otro material que garantice adecuada resistencia mecánica, protección contra corrosión y como mínimo con un grado de hermeticidad IP 54 y protección contra el impacto IK 08.
- c) El cofre o caja del equipo de control debe disponer de elementos de sujeción a los lados y en la parte inferior y superior, para permitir su instalación en postes mediante abrazaderas, con tuercas y arandelas galvanizadas por inmersión en caliente, de acuerdo a norma ASTM A-153.
- d) La cubierta frontal del cofre debe ser de una sola pieza y contar con un elemento de cierre, que garantice su funcionalidad y evite apertura accidental.
- e) Los orificios para salida de cables deben ser protegidos por un empaque adecuado al calibre de éstos y a la capacidad del control y que garantice el IP requerido para el cofre.
- f) Las conexiones eléctricas (borneras y tornillería) a puntos vivos deben ser del tipo no ferroso y protegidos contra la corrosión. Las conexiones libres o suspendidas deben llevar conectores de resorte, hembra macho aislados para el exterior o cualquier sistema equivalente.
- g) Las bobinas para accionamiento de los contactos serán conectadas fase y neutro o entre fases.

En general se deben utilizar bipolares, de polos independientes y capacidad mayor o igual a 30 A. Las bobinas deben ser encapsuladas o embebidas con aislamiento tipo H.

- h) El equipo de control para alumbrado debe estar provisto de dispositivos para protección contra sobrevoltajes entre 1 000 V y 2 500 V (eficaz) con una onda de 1,2/50  $\mu$ s. Igualmente, debe contar con disyuntores termomagnéticos diseñados para soportar la corriente nominal del control y la corriente de arranque del grupo de luminarias a controlar. Los soportes para instalación de los disyuntores termomagnéticos deben ser de tipo riel DIN, con refuerzos que garanticen la presión y firmeza del contacto eléctrico.
- i) Para alumbrado público los contactos deben ser normalmente cerrados, para servir a dos circuitos de iluminación de forma independiente, deben ser del tipo de acción deslizante – operación firme – y actuar por medio de bobinas electromagnéticas.

j) *Marcación.* Se requiere que los equipos de control, en la parte interna de la caja, tengan su diagrama de conexión. Los componentes eléctricos deben tener en forma durable la siguiente información:

- Tipo de contacto.
- Marca de fábrica.
- Capacidad de operación (A).
- Modelo y referencia.
- Voltaje (es) de operación de la bobina (V).
- Mes y año de fabricación.
- Voltaje (es) de los contactos de la carga (V) .
- Diagrama de conexiones del contactor.
- Voltaje nominal de aislamiento.

**4.2.15.2 Normas utilizadas para los ensayos.** Para la verificación de los requisitos establecidos se podrán utilizar NTE INEN, normas internacionales o de reconocimiento internacional, tales como:

ANSI. C 136-10 For physical and electrical interchangeability of photocontrol devices, plugs, and mating receptacles used in roadway lighting equipment.

ANSI. IEEE STD 428 Thyristor AC power controllers, definitions and requirements.

NBR. 5123 Relé fotoeléctrico y bases para iluminación pública. Especificación y métodos de ensayo

**4.2.16 Postes para alumbrado público.** Los postes para alumbrado público pueden ser de hormigón armado, hierro galvanizado al caliente, aluminio, acero inoxidable de fibras poliméricas reforzadas.

#### **4.2.16.1 Requisitos de los postes de hormigón armado**

- a) El recubrimiento de la armadura de los postes de hormigón armado puede ser centrifugado, vibrado o pretensado.
- b) Los postes de hormigón armado al utilizarse como soportes estructurales para redes exclusivas de alumbrado público deben tener una carga nominal de ruptura horizontal no menor a 400 kg . Si son compartidas con líneas aéreas de distribución de medio y bajo voltaje, deben cumplir con las características y dimensiones establecidas en la NTE INEN 1965.
- c) Los postes exclusivos de alumbrado público deben especificarse para permitir el montaje doble y sencillo de las luminarias o pueden ser especialmente diseñados para alumbrado público vehicular, peatonal y parques.
- d) La conicidad debe ser de 1,5 a 2,0 cm/m de longitud para todos los tipos de postes de concreto.

La conicidad es la relación entre la diferencia de los diámetros de punta y de base y la altura del poste. Los diámetros de la base, de la punta del poste y su altura, serán los indicados en la NTE INEN 1965.

- e) El poste, bajo la acción de una carga aplicada a 20 cm de la punta, con una intensidad igual al 50% de la carga mínima de rotura de diseño, no debe producir una flecha superior al 4% de la longitud libre del poste y al cesar la acción de esa carga. La deformación permanente debe ser al 60 % de la carga mínima de rotura de diseño, siendo su deformación menor al 5% de la flecha máxima.
- f) El acero de refuerzo utilizado en la fabricación de los postes debe cumplir con las NTE INEN vigentes, normas internacionales o de reconocimiento internacional, o normas nacionales de otros países. Para los postes pretensados el refuerzo debe cumplir con las NTE INEN vigentes, normas internacionales o de reconocimiento internacional o normas nacionales de otros países que sean equivalentes. Las varillas de acero estructural deben tener esfuerzo nominal de fluencia mínimo de 420 MPa (60 915 psi).

- g) Según el ambiente <sup>(\*)</sup><sup>(\*\*)</sup> en que serán utilizados los postes, la armadura de acero del poste de hormigón, debe tener un recubrimiento no menor a 20 mm para ambientes moderados y 25 mm para ambientes severos o con alto grado de corrosión.
- h) En caso de utilizar postes pretensados se debe realizar un recubrimiento en la base y en la punta del poste con el fin de lograr la protección de los cables, alambres o elementos metálicos de pretensado. El recubrimiento utilizado, cualquiera que sea incluyendo la pintura epóxica debe garantizar como mínimo la vida útil esperada.

(\*) *Ambientes moderados.* Se refiere a ambientes con estructuras expuestas a ciclos de humedecimiento y secado, estructuras en contacto con agua dulce en movimiento, ambientes rurales lluviosos, ambientes urbanos sin alta condensación de gases agresivos y estructuras en contacto con suelos no agresivos al concreto.

(\*\*) *Ambientes severos.* Se refiere a ambientes marinos, salinos o con microclima industrial, ambientes urbanos con alta condensación de gases agresivos y estructuras en contacto con suelos también agresivos.

- i) Para permitir el paso de conductores eléctricos por el interior del poste y facilitar su conexión, éste debe tener dos ventanas: ventana superior rectangular de 2,5 cm x 8 cm y ventana inferior rectangular de 2,5 cm x 8 cm las mismas que se ubicarán a las distancias especificadas en el sumario de Especificaciones Técnicas Particulares de Postes de Hormigón Armado, establecidas por el MEER .
- j) Ninguna de las partes de la armadura de refuerzo del poste debe ser visible por esas perforaciones.
- k) La longitud de empotramiento de los postes se debe calcular aplicando la siguiente fórmula:

$$H_1 = 0,1 H + 0,50 \text{ (m)}$$

Donde:

$H_1$  = longitud de empotramiento (m).

$H$  = longitud total del poste (m).

Este valor puede modificarse de acuerdo a las condiciones del terreno o a requisitos especiales del usuario, previa revisión estructural del poste y la cimentación de éste.

- l) *Señalización.* Todos los postes deben llevar señalizados las siguientes secciones:
- *Centro de gravedad.* Debe llevar una franja pintada de color rojo de 30 mm de ancho y que cubra el semiperímetro de la sección, en el sitio que corresponde al centro de gravedad.
  - *Profundidad de empotramiento.* Todos los postes deben llevar pintada una franja 30 mm de ancho y que cubra el semiperímetro de la sección e indique hasta dónde se debe enterrar el poste, cuyos colores dependerán de la altura del poste y de la carga nominal de rotura horizontal, según lo indicado en el sumario de Especificaciones Técnicas Particulares de Postes de Hormigón Armado, establecidas por el MEER.
- m) En cuanto a la calidad del concreto se deben seguir los procedimientos establecidos en las NTE INEN vigentes, normas internacionales o de reconocimiento internacional o normas nacionales de otros países que sean equivalentes.
- n) *Requisitos de instalación.* Los postes a ser instalados en lugares aledaños a vías vehiculares, cualquiera que sea su material y técnica constructiva, deben instalarse en el lado de la acera y tras el bordillo.
- n.1) En vías de alta velocidad el responsable del proyecto debe utilizar los postes con la técnica constructiva que menor riesgo presente para pasajeros en el evento de un impacto del vehículo con el poste.



**4.2.16.2 Normas utilizadas para los ensayos.** Para la verificación de los requisitos establecidos en este reglamento se podrán utilizar las NTE INEN vigentes o normas internacionales o de reconocimiento internacional que sean equivalentes:

NTC 1329 *Prefabricados en concreto. Postes de concreto armado para líneas aéreas de energía y telecomunicaciones.*

NTE INEN 1964. *Postes de hormigón armado y preesforzado para soportes de instalaciones de líneas y redes aéreas de energía eléctrica y telecomunicaciones. Definiciones.*

NTE INEN 1965. *Postes de hormigón armado y preesforzado para soportes de instalaciones de líneas y redes aéreas de energía eléctrica y telecomunicaciones. Requisitos.*

NTE INEN 152. *Cemento Portland. Requisitos.*

NTE INEN 872. *Árido para hormigón. Requisitos.*

NTE INEN 101. *Barras lisas de acero al carbono de sección circular, laminadas en caliente para hormigón armado.*

NTE INEN 102. *Barras con resaltes de acero al carbono laminadas en caliente para hormigón armado. Requisitos.*

Código Ecuatoriano de la construcción

NTE INEN 1967. *Postes de hormigón armado y preesforzado para soportes de instalaciones de líneas y redes aéreas de energía eléctrica y telecomunicaciones. Ensayos.*

A.W.S.D 12.1 (A.C.I 318) - *Prácticas recomendables para soldar acero de refuerzo, insertos metálicos y conexiones, en construcciones de concreto reforzado.*

#### **4.2.16.3 Postes y brazos metálicos**

- a) Los postes metálicos y brazos de montaje cumplirán con el diseño arquitectónico o normas urbanísticas de cada municipalidad. El responsable del diseño del proyecto de alumbrado público debe concertar con los planos de mobiliario urbano, haciendo primar las condiciones de seguridad, eficiencia energética, técnico-económicas y facilidades para el mantenimiento. Previo a la construcción del proyecto de alumbrado público se debe contar con los diseños de iluminación debidamente aprobados por las empresas distribuidoras, así como también contar con la autorización para la ejecución de este proyecto por parte de la distribuidora (analizar más adelante en el capítulo sobre diseño).
- b) Los postes deben permitir el montaje de una o más luminarias de acuerdo al propósito para el que fueron diseñados (sea alumbrado público, peatonal, plazoletas y parques).
- c) Los postes metálicos para alumbrado público, a excepción de los de acero inoxidable y aluminio, serán totalmente galvanizados por inmersión en caliente, pintados con pintura fondo epóxico y acabado poliuretano o pintura electrostática, teniendo en cuenta que el galvanizado debe estar libre de burbujas, con un completo revestimiento, sin depósitos de escoria, sin manchas negras o cualquier otro tipo de inclusiones o imperfecciones.
- d) Las láminas, pletinas y elementos roscados (canastillas de anclaje) se deben galvanizar en caliente y deben cumplir con las NTE INEN vigentes o normas internacionales o de reconocimiento internacional, que sean equivalentes, siendo clase B-2 para láminas y pletinas, y clase C para elementos roscados (ver tabla 8. Normas ASTM A123, ASTM A153 y NTE INEN 671).

**TABLA 8. Requisitos de galvanizado para láminas, pletinas y elementos roscados**

	<b>PROMEDIO</b>	<b>MINIMO</b>
--	-----------------	---------------



<b>ELEMENTO</b>	<b>gr/m<sup>2</sup></b>	<b>μm</b>	<b>gr/m<sup>2</sup></b>	<b>μm</b>
Platinas y láminas	458	65,4	381	54,4
Elementos roscados	397	56,6	336	48

- e) Las láminas, tubos y pletinas utilizadas para la fabricación de los postes metálicos deben poseer como mínimo las características mecánicas de la tabla 9).



**TABLA 9. Características mecánicas mínimas para láminas, tubos y pletinas de acero**

ITEM	VALOR
Presión del viento	60 km/m <sup>2</sup>
Carga de rotura	150 kg
Límite mínimo de fluencia del acero	18,4 kg/mm <sup>2</sup> (180 MN/m <sup>2</sup> )
Resistencia a la tracción	34,7 kg/mm <sup>2</sup> (340 MN/m <sup>2</sup> )
Elongación	30% en 50 mm (2 pulgadas)

- f) Los diámetros inferior y superior del poste serán acorde al diseño del fabricante o del cliente, siempre y cuando garanticen el cumplimiento de los parámetros indicados en la tabla 9.
- g) Los espesores mínimos de la lámina metálica deben ser de 4 mm para postes hasta de 14 m de altura y de 6 mm para postes hasta de 16 m.
- h) Las láminas para la fabricación de los postes metálicos deben cumplir con las características de la tabla 10.

**TABLA 10. Características químicas para láminas y pletinas de acero**

ELEMENTO	SAE 1010	SAE 1020
% Carbono	0,08 a 0,13	0,18 a 0,22
% Fósforo, máx.	0,05	0,05
% Azufre, máx.	0,05	0,05
% Manganeso	0,3 a 0,6	0,3 a 0,6
% Silicio, máx.	0,05	0,05
<b>Nota: Se pueden usar aceros equivalentes como ASTM A36 y otros</b>		

- i) En los tramos que conforman el poste metálico, las láminas y tubos deben ser de una sola pieza (no deben ser unidos o empatados) deben ser libres de soldaduras intermedias, libres de deformaciones, fisura, aristas cortantes, y defectos de laminación. No se permiten dobleces ni rebabas en las zonas de corte, perforadas o punzadas.
- j) La tubería utilizada para la fabricación de los soportes o brazos debe ser del tipo estructural ASTM A 500 grado A ó B, cumpliendo con los requisitos de la tabla 11.

**TABLA 11. Características químicas para soportes o brazos metálicos**

ELEMENTO	COMPOSICIÓN MÁXIMA
<b>Carbono</b>	<b>0,270%</b>
<b>Manganeso</b>	<b>1,400%</b>
<b>Fósforo</b>	<b>0,045%</b>
<b>Azufre</b>	<b>0,045%</b>

- k) En las uniones (tramos tronco cónicos, la base, etc.) deben realizarse pases de soldadura E-6010 con suficiente corriente eléctrica para obtener máxima penetración entre las piezas, también se deben realizar pases sucesivos de soldadura E-7018 para alcanzar una altura mínima de refuerzo de ¼". Se podrá aceptar las uniones de los tramos con bridas de pernos acerados de sujeción, grado de dureza del perno mínimo 5.



- l) Todas las soldaduras deben ser libres de defectos tales como escorias, inclusiones, poros, etc., y de la misma forma deben cumplir el código ASME capítulo IX.
- m) El espesor de recubrimiento (galvanizado) debe ser como mínimo de 75 micras con acabado liso y uniforme. La prueba de espesor de galvanizado puede realizarse con un ecómetro debidamente calibrado. Se debe tener en cuenta las siguientes características del zinc:

<b>GRADO</b>	<b>Plomo Máximo</b>	<b>Hierro Máximo</b>	<b>Cadmio máximo</b>	<b>Zinc Mínimo</b>
<b>Especial</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>99,90</b>

- n) El acabado exterior del cuerpo del poste debe garantizar la adherencia de la pintura y estabilidad del color contra rayos ultravioleta o el color que determine las normas de planeación del municipio donde se vaya a instalar.
- o) Las tolerancias aceptadas para la conformación del poste se relacionan en la tabla 12.

**TABLA 12. Tolerancias aceptadas en la fabricación de postes metálicos**

<b>ITEM</b>	<b>VALORES ACEPTADOS</b>
<b>Longitud total del poste</b>	<b>Entre +20 mm y -10 mm</b>
<b>Desviación longitudinal (deformación permanente al eje longitudinal)</b>	<b>Menor o igual a +10 mm</b>
<b>Sección transversal</b>	<b>Entre +3 mm y -1 mm</b>
<b>Espesores</b>	<b>Entre +1 mm y -0 mm</b>

- p) Por razones de seguridad, los postes metálicos deben tener un terminal para puesta a tierra. El poste debe ser conectado a un sistema de puesta a tierra.
- q) El poste metálico debe incluir el diseño estructural y las dimensiones de la base de anclaje de concreto y los tornillos de anclaje, a no ser que dichas bases de anclaje de concreto se encuentren estandarizadas, para los diferentes tipos de poste a utilizar, dentro de las normas de construcción del operador del servicio de alumbrado público.
- r) *Marcación.* La marcación del poste debe ir en una placa metálica remachada en cuatro partes, en alto o bajo relieve incluyendo la siguiente información:
- Marca de fábrica.
  - Longitud del poste m.
  - Mes y año de fabricación.
  - Peso del poste kg .
  - Resistencia mecánica de ruptura kgf.
  - Propietario.
  - Código del poste (según secuencia de la distribuidora de energía y/o municipios).
- s) *Empaque.* Los postes deben ser embalados adecuadamente en forma individual, para resistir las condiciones de humedad e impacto que pueden presentarse durante el transporte desde fábrica hasta las bodegas y durante su almacenamiento. Para ello los postes metálicos deben contar con un recubrimiento total.

**4.2.16.4 Normas para ensayos.** Para la verificación de los requisitos establecidos en este reglamento se podrán utilizar las NTE INEN vigentes o normas internacionales o de reconocimiento internacional, que sean equivalentes, tales como:

NTE INEN-ISO 2859-1 *Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 1. Planes de muestreo determinados por el nivel aceptable de calidad (NAC) para inspección lote a lote.*

ASTM A-370 *Methods and definitions for mechanicals testing of steel products.*

AWS D.1.1 *Structural welding code.*

AWS D 10.9 *Standard for qualification of welding procedures and welders for piping and tubing.*

ASTM A53 *Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless.*

ASTM A385 *Standard practice for providing high quality zinc coatings (hot dip).*

ASTM A500 *Standard Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes.*

ASTM A563 *Standard Specification for carbon and alloy steel nuts.*

### **4.3 Alumbrado público y exterior**

#### **4.3.1 Requisitos generales de diseño de alumbrado público**

**4.3.1.1** Adicional a los requerimientos específicos, el alumbrado público debe cumplir los principios generales de iluminación que se apliquen, establecidos en el numeral 4.1 del presente reglamento.

- a) *Requerimientos de visibilidad.* La iluminación de un sistema de alumbrado público debe ser adecuada para el desarrollo normal de las actividades tanto vehiculares como peatonales. Para lo cual se debe tener en cuenta la confiabilidad de la percepción y la comodidad visual, aplicando la cantidad y calidad de la luz sobre el área observada y de acuerdo con el trabajo visual requerido.

Así, para cumplir esos requerimientos de luz se debe hacer una cuidadosa selección de la fuente y la luminaria apropiada teniendo en cuenta su desempeño fotométrico, de tal forma que se logre los requerimientos de iluminación con las mejores interdistancias, las menores alturas de montaje y la menor potencia eléctrica de la fuente posible.

- b) *Cantidad y calidad de luz.* Se ha establecido como el objetivo del alumbrado público, permitir a los usuarios de la calzada y de las aceras, circular sobre ellos en las horas de la noche, de manera segura, cómoda y a velocidades preestablecidas.

La seguridad se logra si el alumbrado permite a los usuarios que circulan a velocidad normal evitar un obstáculo cualquiera. La iluminación debe permitir, en particular, ver a tiempo los bordes, las aceras, separadores, encrucijadas, señalización visual, y en general, toda la geometría de la vía. Para este efecto, está establecido que el criterio de seguridad consiste en la visibilidad de un obstáculo fijo o móvil constituido por una superficie de 0,20 m x 0,20 m, con un factor de reflexión de 0,15. Considerando que:

- La seguridad de un peatón se logra si éste puede distinguir el obstáculo a una distancia de 10 m o más.
- La seguridad de un automovilista depende esencialmente de su velocidad. A velocidad media de 60 km/h, él debe percibir este obstáculo a una distancia hasta 100 m. Para velocidades superiores esta distancia oscila entre 100 y 200 m.

La noción de seguridad resultante del alumbrado público no es la misma en carretera que en los cascos urbanos. En el primer caso, el alumbrado interesa sobre todo al automovilista que circula a una velocidad relativamente alta sobre una carretera donde los obstáculos fijos o móviles no son

muy frecuentes y la iluminación se concentra más en proveer la dirección de circulación a manera de una perfecta guía visual. El conductor verá los obstáculos como siluetas, pues generalmente el contraste resulta negativo.

Por el contrario, en los cascos urbanos, la circulación es más densa y los obstáculos son generalmente más frecuentes, pero la velocidad de circulación es generalmente menor.

De lo anterior, se deduce que, según el objeto que se persiga, la elección del sistema de alumbrado se verá influenciada por la densidad, naturaleza y velocidad de circulación.

Es necesario que el sistema de alumbrado permita ver esos obstáculos y otros vehículos sin riesgo de error o deslumbramiento. Igual hipótesis se plantea para los peatones, aunque su velocidad menor hace que sean menos exigentes las condiciones para ver.

La iluminación calculada debe comportarse como una guía de visibilidad en la que están comprometidas de una manera conjunta la confiabilidad de la percepción y la comodidad visual.

- c) *Confiabilidad de la percepción.* Los objetos solo pueden percibirse cuando se tiene un contraste superior al mínimo requerido por el ojo. Este valor depende del ángulo con el que se vea (afecta la cantidad de superficie aparente en la fórmula de luminancia) y de la distribución de la luminancia en el campo visual del observador (fondo para el contraste).

Además, este valor define el tiempo de adaptación del ojo en dicha situación.

La iluminación deberá perseguir dos elementos: el primero es proporcionar un elevado nivel de luminancia en el fondo, interpretado como la necesidad de proveer una luminancia promedio  $L_{prom}$  elevada. (Téngase en cuenta que en todo el presente reglamento la luminancia promedio se refiere al promedio mantenido).

El segundo elemento es un bajo nivel de luminancia para el obstáculo, que generalmente tiene un bajo coeficiente de reflexión, pero que está fuera del control del diseñador.

Un tercer elemento es mantener un limitado deslumbramiento desde las fuentes de luz o luminancia de velo (Se interpreta como proveer una  $L_{velo}$  baja).

Es necesario definir y entender claramente el concepto del cálculo de la luminancia promedio mantenida. Además, no basta aplicar la simple fórmula matemática para obtener el promedio que pudiera resultar elevado debido a unos pocos puntos de gran valor y otros muy bajos, sino que es necesario que los puntos calculados, para obtener el promedio, mantengan una dispersión baja de modo que los puntos de la calzada con mínima luminancia no afecten la percepción por disminución de la luminancia de fondo.

Esto se logra controlando el valor de la uniformidad general de luminancia  $U_o$ .

La confiabilidad de la percepción se ve comprometida igualmente y de manera directa, con mayores niveles de deslumbramiento fisiológico. Por consiguiente, para restringir el efecto molesto del deslumbramiento, hay que especificar un límite máximo al valor para el incremento del umbral TI.

- d) *Comodidad visual.* El ambiente visual de un conductor está constituido, principalmente, por la visión de la calzada al frente del volante y en menor grado por el resto de su campo visual, que puede llegar a tener información para el conductor, como las señales de tránsito. La comodidad visual es una importante característica que redundará en la seguridad del tráfico vehicular. La falta de comodidad se traducirá en una falta de concentración por parte de los conductores que reducirá la velocidad de reacción debido al cansancio que se producirá en sus ojos.

El grado de comodidad visual proporcionado por una instalación de alumbrado público será mejor si el ojo del conductor tiene mejores niveles de adaptación. Ello implica elevar la luminancia promedio  $L_{prom}$  sobre la vía, así como controlar la dispersión de los valores que componen dicho promedio. Para asegurar el control en la dispersión de los datos se utiliza el

concepto de *Uniformidad longitudinal de luminancia UL*. Un bajo nivel de uniformidad longitudinal se traducirá en la aparición del *efecto cebra* sobre la vía, causante de la fatiga visual del conductor. El efecto cebra toma su nombre en la apariencia que toma la vía cuando tiene un bajo valor de uniformidad longitudinal. Como aparecen sectores transversales a la vía bien iluminados, seguidos de otros con poca iluminación, la vía toma la apariencia de la piel de una cebra.

En la comodidad visual del conductor se encuentra comprometida la luminancia ofrecida por la instalación de alumbrado público, su uniformidad, su nivel de iluminancia, el grado de deslumbramiento, así como la disposición y naturaleza de las fuentes luminosas utilizadas. Una instalación urbana necesita mayores niveles de comodidad visual a fin de reducir la tensión nerviosa de los conductores y con ello sus efectos sobre el comportamiento en la vía. Por ello, la instalación de alumbrado debe considerar la iluminación de aceras y fachadas y de esa manera crear un ambiente más agradable.

Todo esto, sin generar deslumbramiento y manteniendo la estética de la instalación, que al fin de cuentas, la hace más agradable.

Una instalación de iluminación en carreteras debe asegurar una continuidad óptica sobre el carril de circulación y sobre la geometría de la vía, a fin de elevar la seguridad por la velocidad de circulación.

Se deben tener en cuenta tres variables al considerar la selección o diseño de una instalación de alumbrado público: la velocidad de circulación, la frecuencia y naturaleza de los obstáculos a ver y el tipo de usuarios de la vía.

En principio, vías que responden de la misma manera a los criterios anteriores, se iluminan de la misma manera. Por consiguiente, se pueden agrupar las vías en varios conjuntos que respondan a un mismo tipo de iluminación. Esta agrupación permite generar instructivos sobre la forma típica de iluminar, de modo que se contemplen todos los problemas que resulten al menos desde el punto de vista lumínico.

- e) *Relación de alrededores SR*. Una de las metas principales en iluminación de vías es crear una superficie clara sobre la vía contra la cual pueden verse los objetos. Ahora, cuando los objetos son elevados y están sobre la vía, su parte superior se ve contra los alrededores. Igual sucede si los objetos están justo en el borde de la vía y en las secciones curvas del camino.

En estos casos el contraste podría llegar a ser insuficiente para una percepción segura en el tiempo requerido por el conductor, si no se controla la *iluminancia* promedio de los alrededores (Véase la recomendación CIE 136 y 140 de 2 000).

En consecuencia, controlar la iluminancia de los alrededores ayuda al conductor a percibir más fácilmente el entorno y le ayuda a efectuar, de manera segura, las maniobras que necesite. Controlar la relación **SR** permite, entonces mantener las condiciones adecuadas de contraste de objetos al borde de la vía. Por otra parte, esta iluminación beneficia a los peatones cuando existan a los lados de la vía andenes transitables por éstos.

En vías donde los alrededores tienen su propia iluminación, no es necesario considerar el factor **SR**. Su cálculo se explica en el numeral 4.3.4.9 del presente reglamento.

- f) *Evaluación económica y financiera*. Todos los proyectos de alumbrado público deben hacer una evaluación económica y financiera donde se incluyan no sólo los costos de inversión, sino los costos de operación y mantenimiento durante la vida útil del proyecto de alumbrado público. Se debe considerar tanto el costo inicial como los de operación y mantenimiento asociados, así como el valor de reposición al final de la vida útil del proyecto. Los costos energéticos son relevantes al definir cargas operativas.
- g) *Uso racional y eficiente de la energía*. Un proyecto de alumbrado público debe aplicar requisitos relacionados con el URE. Los sistemas de alumbrado público diseñados deben cumplir

simultáneamente con los requisitos fotométricos y no deben exceder los valores máximos de densidad de Potencia Eléctrica (DPEA) establecidos en el presente reglamento.

- h) *Condiciones ambientales de la localidad.* Un proyecto de iluminación exterior o de alumbrado público debe ser adecuado a las condiciones ambientales de la localidad, así como las condiciones particulares del medio, especialmente la presencia de agentes corrosivos, las condiciones ambientales y las facilidades de mantenimiento, deben determinar las características de hermeticidad y protección contra corrosión o ensuciamiento que necesitarán las luminarias, en particular su conjunto óptico, aspectos que se deben reflejar el diseño.
- i) *Requerimientos de las normas de mobiliario urbano.* Otro factor a considerar en los proyectos de iluminación es la reglamentación sobre mobiliario urbano, por lo que se debe considerar el estilo arquitectónico predominante en el sector.

En plazas públicas, fachadas, vías con destinación histórica o turística definidas, es necesario mantener el estilo, el color y la distribución concordantes. Así mismo, es importante el uso típico de la vía, peatonal, ciclo-ruta o para vehículos automotores. Para cada caso hay distribuciones y equipos que mejoran el impacto visual de la instalación.

#### 4.3.2 Consideraciones técnicas del diseño del alumbrado público

##### 4.3.2.1 Clases de iluminación según las características de las vías

###### a) Vías vehiculares

- a.1) Los criterios que se deben tener en cuenta para asignar una clasificación de iluminación están asociados a las características de las vías, siendo las principales: la velocidad de circulación y el número de vehículos. Toda vía caracterizada con estas dos variables se les asignará un tipo de iluminación conforme a la tabla 13.

**TABLA 13. Clases de iluminación para vías vehiculares**

Clase de Iluminación	Descripción vía	Velocidad de circulación (km/h)		Tránsito de vehículos T (Veh/h)	
		Extra alta	V>80	Muy importante	T>1000
<b>M1</b>	<b>Autopistas y carreteras</b>	Extra alta	V>80	Muy importante	T>1000
<b>M2</b>	<b>Vías de acceso controlado y vías rápidas.</b>	Alta	60<V<80	Importante	500<T<1000
<b>M3</b>	<b>Vías principales y ejes viales.</b>	Media	30<V<60	Media	250<T<500
<b>M4</b>	<b>Vías primarias o colectoras</b>	Reducida	V<30	Reducida	100<T<250
<b>M5</b>	<b>Vías secundarias</b>	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	T<100

- a.2) Otros factores a tener en cuenta son la complejidad de la circulación, controles del tráfico tipos de usuarios de las vías y existencia de separadores. En tal sentido y por criterios de uso racional y eficiente de energía, una vía podrá disponer, en ciertas horas, de un alumbrado con clasificación inferior a la resultante de la aplicación de la tabla 13, utilizando la tabla 14.
- a.3) En el mismo sentido, de acuerdo con las condiciones de control de tráfico y de existencia de separación de diferentes usuarios en la vía, también podrá usarse una clase de iluminación diferente. Las condiciones para disponer de dos clases de iluminación en una vía o su cambio como criterio inicial de diseño se establecen en la tabla 14.

**TABLA 14. Variación en las clases de iluminación por tipo de vía, complejidad de circulación y control del tráfico**

Descripción de la vía	Tipo de iluminación
<b>Vías de extra alta velocidad, con calzadas separadas exentas de cruces a nivel y con accesos completamente controlados (Autopistas expresas). Con densidad de tráfico y complejidad de circulación<sup>(1)</sup>:</b>	
Alta T>1000(Veh./h)	M1
Media 500< T<1000 (Veh. /h)	M2
Baja T< 500 (Veh. /h)	M3
<b>Vías de extra alta velocidad, vías con doble sentido de circulación. Con control de tráfico<sup>(2)</sup> y separación<sup>(3)</sup> de diferentes usuarios de la vía:</b>	
Escaso	M1
Suficiente	M2
<b>Vías más importantes de tráfico urbano, vías circunvalares y distribuidoras. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía:</b>	
Escaso	M2
Bueno	M3
<b>Conectores de vías de poca importancia, vías distribuidoras locales, vías de acceso a zonas residenciales, Vías de acceso a propiedades individuales y a otras vías conectoras más importantes. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía:</b>	
Escaso	M4
Bueno	M5
<p>NOTAS:</p> <p>1) La complejidad de la vía se refiere a su infraestructura, movimiento de tráfico y alrededores visuales.</p> <p>Se deben considerar los siguientes factores: número de carriles, inclinación, letreros, señales, entradas y salidas de rampas. Se debe tener en cuenta que las intersecciones viales y otros sitios de tráfico complejo se analizan separadamente.</p> <p>2) Control de tráfico se refiere a la presencia de avisos y señales, así como a la existencia de regulaciones. Los métodos de control son semaforización, reglas y regulaciones de prioridad, señales, avisos y demarcaciones de la vía. La presencia o no de estos controles es lo que determina que sean escasos o suficientes.</p> <p>3) La separación puede ser por medio de carriles específicos o por normas que regulan la restricción para uno o varios de los tipos de tráfico. El menor grado se recomienda cuando existe esta separación.</p> <p>4) Los diferentes tipos de usuarios de la vía son: automovilistas (en vehículos veloces o lentos), motoristas de vehículos pesados y lentos (camiones), vehículos grandes y lentos (buses) ciclistas, motociclistas y peatones.</p>	

a.4) Además, se debe tener en cuenta la geometría de la vía (rectilínea, curva, número de carriles de circulación, reglas de tránsito, superficie de la vía, guías visuales), así como los puntos particulares que se pueden encontrar sobre ella (cruces, puentes, túneles etc.).

a.5) En principio, todas las vías que respondan de similar manera a los criterios definidos anteriormente, pueden ser iluminadas de manera idéntica. En consecuencia, las vías se pueden agrupar en varios conjuntos que respondan a un mismo tipo de iluminación en función de los fines perseguidos, diferentes para cada uno de ellos, pero bien caracterizados para un mismo conjunto.

*b) Vías para tráfico peatonal y ciclistas*

b.1) La iluminación de estas áreas debe garantizar que los peatones y ciclistas puedan distinguir la textura y diseño del pavimento, la configuración de bordillos, escalones marcas y señales; adicionalmente, debe ayudar a evitar agresiones al transitar por estas vías. En la tabla 15 se presentan las siete clases de iluminación para diferentes tipos de vías en áreas peatonales.

**TABLA 15. Clases de iluminación para diferentes tipos de vías en áreas peatonales y de ciclistas**

DESCRIPCIÓN DE LA CALZADA	CLASE DE ILUMINACIÓN
Vías de muy elevado prestigio urbano	P1
Utilización nocturna intensa por peatones y ciclistas	P2
Utilización nocturna moderada por peatones y ciclistas	P3
Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes	P4
Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. <i>Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente.</i>	P5
Utilización nocturna muy baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. <i>Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente</i>	P6
Vías en donde únicamente se requiere una guía visual suministrada por la luz directa de las luminarias	P7

NOTA. El prestigio se relaciona con la necesidad de producir un ambiente atractivo. Para las demás clases de iluminación, P2 a P6 (ojo), la graduación se relaciona con el uso por parte de los peatones. Las clases P5 a P6 solo deben usarse donde sea baja la probabilidad de realización de delitos en ausencia de luz.

b.2) Las clases de alumbrado establecidas en la tabla 15, consideran las necesidades asociadas a toda la superficie utilizada, es decir, la superficie de la acera y de la calzada, en caso que exista.

b.3) Cuando se haya establecido que en determinadas zonas se ha incrementado o se pueda incrementar la criminalidad o resulte necesaria la identificación de las personas, objetos u obstáculos, la clase de iluminación podrá ser uno o dos grados superior a la resultante de aplicar la tabla.

#### 4.3.2.2 Clases de iluminación según el uso y tipo de vía

- En concordancia con el concepto de crear espacios de convivencia ciudadana garantizando la seguridad, los niveles recomendados por las normas nacionales e internacionales han sido ajustados a valores, que satisfacen los requerimientos particulares del país. Igualmente, estos valores se presentan para cada tipo de vías y áreas asociadas en rangos coherentes a los criterios de diseño, que ofrecen flexibilidad en el diseño y aplicación para cada caso específico, a la vez que armonizan en el contexto urbanístico.
- Para la adecuada identificación de cada espacio en la vía es necesario atender los perfiles típicos de vías que tiene aprobado en el Plan de Ordenamiento Territorial de cada municipio.
- En los sistemas de alumbrado público existentes que hagan uso de la infraestructura de red eléctrica de uso general, sobre los cuales se requiera realizar ajustes para cumplir con los niveles de iluminación y coeficiente de uniformidad exigidos en el presente reglamento, se deben modificar la luminaria y/o la potencia de la fuente, así como la forma y longitud del brazo.
- Cuando el operador de red o propietario de la infraestructura de la red de uso general realice la remodelación, deberá realizar el diseño y adecuación de dichas redes considerando el cumplimiento de las exigencias del servicio de alumbrado público de conformidad con el presente reglamento.

#### 4.3.2.3 Requisitos de iluminación mantenidos para vías vehiculares

- Conocidas las características de las vías y sus requerimientos visuales se deberá asignar la clase de iluminación necesaria. A cada clase de iluminación se le establecen los requisitos fotométricos mínimos, mantenidos a través del tiempo, los cuales se condensan en la tabla 16 para luminancia, cuando este es el criterio aplicado. Los valores son para piso seco.

**TABLA 16. Requisitos fotométricos mantenidos por la clase de iluminación para tráfico motorizado con base en la luminancia de la calzada**

Clase de iluminación	Zona de aplicación				
	Todas las vías			Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con calzadas peatonales no iluminadas
	Luminancia promedio $L_{prom}$ ( $cd/m^2$ ) Mínimo mantenido	Factor de uniformidad $U_o$ Mínimo	Incremento de umbral TI % Máximo inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia $U_{Minimo}$	Relación de alrededores SR Mínimo
<b>M1</b>	2,0	0,4	10	0,5	0,5
<b>M2</b>	1,5	0,4	10	0,5	0,5
<b>M3</b>	1,2	0,4	10	0,5	0,5
<b>M4</b>	0,8	0,4	15	N.R	N.R
<b>M5</b>	0,6	0,4	15	N.R	N.R

NR. No Requerido

- b) Se podrán hacer diseños en base al criterio de iluminancia para las vías consideradas en la tabla 17.

**TABLA 17. Valores mínimos mantenidos de iluminancias promedio ( $I_x$ ) en vías motorizadas**

Clase de iluminación	Valor promedio (mínimo mantenido) de iluminancia según tipo de superficie de la vía [Luxes]			Uniformidad de la Iluminancia
	R1	R2 y R3	R4	$E_{min} / E_{prom}$ (%)
<b>M3</b>	12	17	15	34%
<b>M4</b>	8	12	10	25%
<b>M5</b>	6	9	8	18%

- c) Es necesario resaltar que los valores anteriores se calculan para condiciones estables de funcionamiento a través del tiempo de vigencia del proyecto, con excepción del TI que solamente se calcula y verifica para la condición inicial del proyecto.
- d) Es por tanto necesario considerar en el diseño de iluminación los factores de depreciación luminosa incidentes en los parámetros anteriores, los cuales se condensan en un solo resultado final conocido como el Factor de Mantenimiento (FM).

**4.3.2.4 Requisitos de iluminación para vías peatonales y de ciclistas.** En la tabla 18 se asocian, a las clases de iluminación, los valores de iluminancia que se deben satisfacer en los distintos tipos de vías peatonales.



**TABLA 18. Requisitos mínimos de iluminación para tráfico peatonal**

Clase de iluminación	Iluminancia Horizontal (luxes)	
	Valor promedio	Valor mínimo
<b>P1</b>	20,0	7,5
<b>P2</b>	10,0	3,0
<b>P3</b>	7,5	1,5
<b>P4</b>	5,0	1,0
<b>P5</b>	3,0	0,6
<b>P6</b>	1,5	0,2
<b>P7</b>	No aplica	No aplica

#### 4.3.2.5 Requisitos de iluminación para áreas críticas

- a) La tabla 19 establece los requisitos fotométricos para las denominadas áreas críticas, valores adoptados de la Norma CIE 115 2010.

**TABLA 19. Requisitos fotométricos para áreas críticas**

Clase de iluminación	Iluminancia Mínima Mantenido (luxes) (Sobre toda la superficie)	Uniformidad general $U_0 \geq$ (%)
<b>C0</b>	50	40
<b>C1</b>	30	40
<b>C2</b>	20	40
<b>C3</b>	15	40
<b>C4</b>	10	40
<b>C5</b>	7,5	40

Fuente: Norma CIE 115-.2010 tabla 8.1. Lighting requirement for conflict areas.

- b) En áreas críticas que pertenezcan a vías vehiculares se deben aplicar los criterios y clases de iluminación según la tabla 20.

**TABLA 20. Clases de iluminación en áreas críticas de vías vehiculares**

Área crítica	Clase de iluminación del área crítica( C ) según clase de la vía a la que pertenece (M)
<b>Pasos subterráneos</b>	<b>C(N) = M(N)</b>
<b>Intersecciones, cruces, rampas, puentes, entradas a divergencias o convergencias, áreas con ancho de carriles restringidos</b>	<b>C(N) si M(N)</b>
<b>Cruces ferroviarios</b>	<b>C(N) si M(N)</b>
<b>Simplex</b>	<b>C(N-1) si M(N)</b>
<b>Complejos</b>	
<b>Glorietas sin señalización</b>	
<b>Grandes</b>	<b>C1</b>
<b>Medianas</b>	<b>C2</b>
<b>Pequeñas</b>	<b>C3</b>
<b>Área vehicular en fila de espera (p.ej. Aeropuertos, terminales de transporte, entre otros)</b>	
<b>Grandes</b>	<b>C1</b>
<b>Medianas</b>	<b>C3</b>
<b>Pequeñas</b>	<b>C5</b>
<b>TÚNELES</b>	<b>seguir recomendaciones de la norma CIE 88</b>

NOTA. En esta tabla la letra entre paréntesis es el número de clase, así C(N) = M(N-1) significa que la clase de iluminación del área crítica es C2 si la vía más importante que llega al área crítica es M3.

- c) Es necesario resaltar que los valores anteriores se calculan para condiciones estables de funcionamiento a través del tiempo de vigencia del proyecto. Es por tanto necesario considerar en el diseño de iluminación los factores de depreciación luminosa incidentes en los parámetros anteriores, los cuales se condensan en un solo resultado final conocido como el Factor de Mantenimiento.

#### 4.3.2.6 Niveles exigidos de luminancia e iluminancia en alumbrado público

- a) De acuerdo con los tipos de vías de cada municipio, los sistemas de alumbrado público se deben diseñar y construir con los valores fotométricos de las tablas 21 y 22. El diseño de iluminación debe considerar no solamente las calzadas vehiculares, sino las ciclo rutas y los andenes adyacentes, como componente del espacio público.

**TABLA 21. Requisitos mínimos de iluminación para vías con ciclo rutas y aceras adyacentes**

Tipo de vía	Calzadas vehiculares				Ciclo-rutas adyacentes		Relación de alrededores *		
	$L_{prom}$ cd/m <sup>2</sup>	$U_o$ ≥ %	$U_l$ ≥ %	TI ≤ %	$E_{prom}$ luxes	$U_o$ ≥ %	$E_{prom}$ luxes	$U_o$ ≥ %	SR %
<b>M1</b>	2,0	40	50	10	20	40	13	33	50
<b>M2</b>	1,5	40	50	10	20	40	10	33	50
<b>M3</b>	1,2	40	50	10	15	40	9	33	50
<b>M4</b>	0,8	40	N.R.	15	10	40	6	33	N.R.
<b>M5</b>	0,6	40	N.R.	15	7.5	40	5	33	N.R.

Adaptado de norma CIE 115 2010

$L_{prom}$  = es la luminancia promedio mínima mantenida.

$U_o$  = es la uniformidad general.

$U_l$  = es la uniformidad longitudinal.

TI = es la restricción del deslumbramiento.

$E_{prom}$  = es la Iluminancia promedio y.

N.R. = No requerido.

\* Corresponde a vías de uso residencial exclusivamente. Para uso mixto y comercial, pasar a la categoría V6

**TABLA 22. Fotometría mínima en áreas críticas distintas a vías vehiculares**

<b>Clasificación</b>	<b>Clase de iluminación</b>	<b>Iluminancia promedio (luxes)</b>	<b>Uniformidad general <math>U_o \geq \%</math></b>
<b>Canchas múltiples recreativas</b>	<b>C0</b>	<b>50</b>	<b>40</b>
<b>Plazas y plazoletas</b>	<b>C1</b>	<b>30</b>	<b>33</b>
<b>Pasos peatonales subterráneos</b>	<b>C1</b>	<b>30</b>	<b>33</b>
<b>Puentes peatonales</b>	<b>C2</b>	<b>20</b>	<b>33</b>
<b>Zonas peatonales bajas y aledaños a puentes peatonales y vehiculares</b>	<b>C2</b>	<b>20</b>	<b>33</b>
<b>Andenes, senderos, paseos y alamedas peatonales en parques</b>	<b>C3</b>	<b>15</b>	<b>33</b>
<b>Ciclo-rutas en parques</b>	<b>C2</b>	<b>20</b>	<b>40</b>
<b>Ciclo-rutas, senderos, paseos, alamedas y demás áreas peatonales adyacentes a rondas de ríos, quebradas, humedales, canales y demás áreas distantes de vías vehiculares iluminadas u otro tipo de áreas iluminadas</b>	<b>C4</b>	<b>10</b>	<b>40</b>

#### 4.3.2.7 Guías de visibilidad en vías de velocidades elevadas

- a) En las carreteras donde se circula a velocidades elevadas, generalmente superiores a los 60 km/h, la iluminación a plantear se concentra más en proveer la dirección del camino a manera de **guía visual**, que en proporcionar una gran cantidad de luz sobre la calzada.

Debe resolver de manera secundaria el problema de ver obstáculos fijos o móviles que aparecen eventualmente. El conductor verá los obstáculos como siluetas, pues generalmente el contraste resulta negativo (el obstáculo se ve más oscuro que el fondo).

Al utilizar adecuadas guías visuales en la vía se pueden reducir sus niveles de iluminación, sin disminuir la seguridad, lográndose con ello un uso racional de la energía.

- b) Las guías de visibilidad resultan muy útiles en el delineamiento de la vía para seguridad del conductor, en particular cuando se trata de vías periféricas, vías en zonas de alta contaminación atmosférica o con presencia permanente de neblina. El diseñador del alumbrado público puede contar en la actualidad con modelos de distribución en perspectiva (modelos 3D estandarizados) para garantizar que el observador no confundirá la vía aún en trayectos donde las curvas de nivel del terreno propicien tal confusión.
- c) Las guías de visibilidad realizadas con el diseño de iluminación son una parte de las guías visuales totales. Para ello, la vía debe contener señales continuas, generalmente en pintura directa sobre la vía, que definen el límite entre la vía y la berma del camino, otras líneas para diferenciar los carriles, igualmente una doble línea para separar las calzadas en dirección contraria. Estas guías se tornan continuas en los tramos curvos y cambia de color (por ejemplo de blanco a amarillo) en los tramos donde la vía ofrece algún riesgo adicional.
- d) Hay en la actualidad muchos otros elementos constitutivos de las guías de visibilidad de las carreteras o vías donde los alrededores no están iluminados y se encuentran referenciados en el RTE INEN 04, parte 1 y 2 y en el Código de Práctica para Alumbrado Público CPE-14. Muchas de ellas son en pinturas claras o reflectivas, en alto relieve o en colores de alto contraste (amarillo y negro). Establece señalización vertical, señalización horizontal y señales de guía, delineadores de piso, especificación técnica de construcción de señales, capta faros (ojos de gato).

#### 4.3.2.8 Localización de luminarias

- a) Al iniciar un diseño de iluminación es necesario conocer las disposiciones que tiene el municipio para los diferentes operadores de servicios públicos, en cuanto a la localización de los postes y redes de energía, así como la red de alumbrado público, respecto al costado donde deben

colocarse en la malla vial local, y si existe alguna restricción para la colocación de los postes exclusivos de alumbrado público en la malla arterial, tanto principal como complementaria.

- b) La localización de las luminarias en la vía está relacionada con su patrón de distribución, con el ancho de la vía (**W**), con los requerimientos lumínicos de la vía, con la altura de montaje (**H**) de las luminarias, con el perfil de la vía, la proximidad a redes de AV, MV (en donde se deben cumplir las normas de distancias mínimas de seguridad establecidas en la Regulación 002-10 del CONELEC para Medio y Bajo Voltaje y CELEC-TRANSELECTRIC para Altos Voltajes y zonas de servidumbres), líneas férreas, mobiliario urbano, etc.
- c) Aparte de estas consideraciones, la altura de montaje se relaciona con las facilidades para el mantenimiento y el costo de los apoyos. La interdistancia de localización de los postes de alumbrado (**S**) será la que resulte del estudio fotométrico de iluminación de la vía y primará sobre la distancia de ubicación de los elementos del mobiliario urbano (árboles, sillas, canecas para basura, bolardos, ciclo parqueos, etc.).
- d) Las interdistancias solo se deben disminuir debido a obstáculos insalvables, como por ejemplo sumideros de alcantarillas, rampas de acceso a garajes existentes, interferencia con redes de servicios públicos existentes y que su modificación resulte demasiado onerosa comparada con el sobre costo que representa el incremento del servicio de alumbrado público, etc.

Se debe obtener interdistancias más elevadas mediante la utilización secuencial de las siguientes alternativas:

- Escoger la luminaria más apropiada.
- Calibrar el reglaje de la luminaria para aumentar su dispersión.
- Aumentar la inclinación de la luminaria (pasando de 0° hasta 20°);
- Utilizar brazos con mayor longitud y por tanto de mayor alcance.
- Aumentar la longitud del brazo para que el avance de la luminaria sobre la calzada sea mayor.

#### 4.3.2.9 Configuraciones básicas de localización de puntos de iluminación

- a) Conocidas las características de las vías y las propiedades fotométricas de las luminarias, el diseñador debe aplicar la configuración que mejor resuelva los requerimientos de iluminación, podrá tener en cuenta la recomendación de la siguiente tabla.

**TABLA 23. Recomendación para disposición de luminarias**

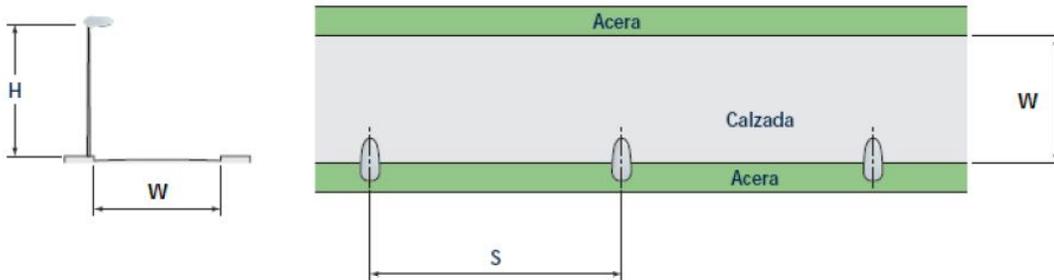
Clase de Iluminación	Altura (m)	Relación S/H	Disposición de las luminarias	
			Criterio	Disposición
M1	12 - 14	3,5 - 4	Dos carriles de circulación	Unilateral
M2	10 - 12	3,5 - 4	Dos carriles de circulación	Unilateral
M3	8,5 - 10	3,5 - 4	Ancho de la calzada menor	Unilateral
M4	7 - 9	3,5 - 4	Unilateral	
M5	6	3,5 - 4	A criterio del diseñador	

- b) *Postes exclusivos de alumbrado público de doble propósito.* Debido a la disposición multipropósito de algunos proyectos en los que se contemplan vías especiales para el tráfico de vehículos, así como las vías peatonales y el ciclo-ruta, es necesario minimizar el uso de postes y apoyos para el alumbrado público. Por un lado sirve para iluminar la calzada vehicular y por otro lado, a igual o menor altura, sirven para colocar las luminarias del andén peatonal o ciclo-ruta.

- b.1) *Disposición unilateral.* Es una disposición donde todas las luminarias se instalan a un solo lado de la vía. El diseñador debe utilizar la luminaria más apropiada que cumpla con los

requisitos fotométricos exigidos para las alturas de montaje, interdistancia y menor potencia eléctrica requerida.

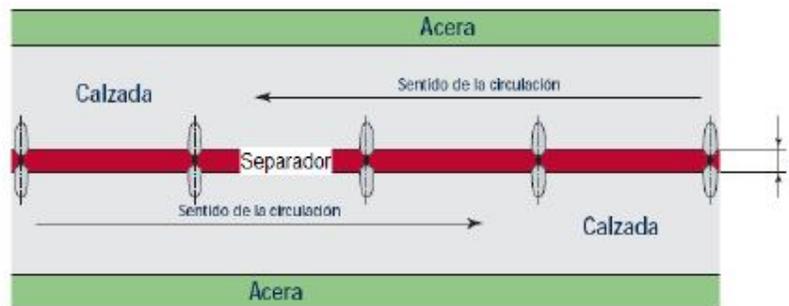
**FIGURA 5. Disposición unilateral**



Diseños por encima de 20° de elevación no son recomendables porque pueden terminar iluminando las fachadas del frente y generando contaminación luminosa.

- b.2) *Central doble*. Donde los carriles de circulación en una dirección y otra se encuentran separados por un parterre que no debe ser menor de 1,5 m de ancho, se logra una buena economía en el proyecto si los postes comparten en el separador central a manera de dos disposiciones unilaterales. Esta manera de agrupar las luminarias se denomina central sencilla.

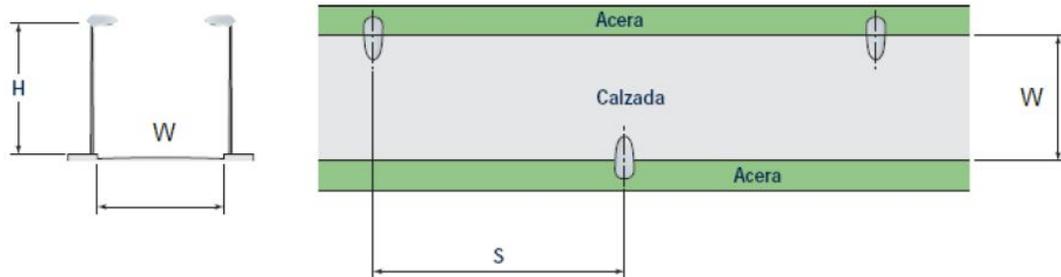
**FIGURA 6. Disposición central doble (para  $1,5 \text{ m} \geq b \leq 4 \text{ m}$ )**



- b.3) *Bilateral alternada*. Cuando la vía presenta un ancho  $W$  superior a la altura de montaje  $hm$  de las luminarias ( $1,0 < (W/hm) < 1,50$ ), se recomienda utilizar luminarias clasificadas como Tipo II de la IESNA o de dispersión media en el modelo de la CIE. Es claro que la anterior frase no obliga al diseñador a utilizar luminarias Tipo II de manera exclusiva, pues el presente reglamento es del tipo de resultados y no de materiales a utilizar en un diseño.

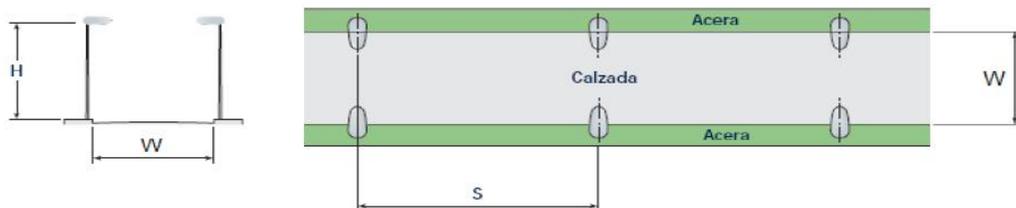
También es conveniente utilizar la disposición bilateral alternada en zonas comerciales o de alta afluencia de personas en la noche, para iluminar las aceras y las fachadas de las edificaciones frente a la calzada y crear de esta manera, un ambiente luminoso agradable.

FIGURA 7. Disposición bilateral alternada (tres bolillos)



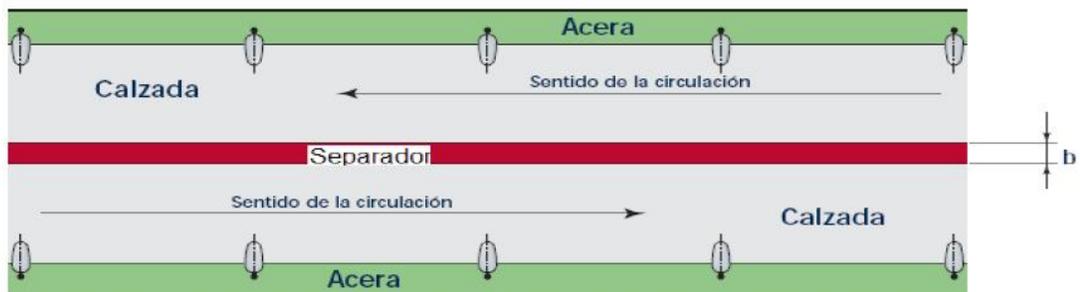
b.4) *Bilateral opuesta sin parterre*

FIGURA 8. Disposición bilateral opuesta



b.5) *Bilateral opuesta con parterre*

FIGURA 9. Disposición bilateral opuesta con parterre (para cualquier valor de b)



Cuando la vía presenta un ancho  $W$  muy superior a la altura de montaje  $hm$  de las luminarias ( $1,25 < (W/hm) < 1,75$ ), se recomienda utilizar luminarias clasificadas como **Tipo III** de la **IESNA** o de dispersión **ancha** en el modelo de la **CIE** en disposición bilateral opuesta, aunque se puede utilizar cualquier tipo de clasificación siempre y cuando se cumpla con los requisitos fotométricos exigidos y el diseño sea el más económico.

En este caso, la iluminación consta de dos filas de luminarias: una a cada lado de la vía y cada luminaria se encuentra enfrentada con su correspondiente del lado contrario. Por otra parte, el solo uso de la disposición no garantiza el resultado. El diseño completo contempla una solución integral a la iluminación de la vía propuesta incluidos los alrededores inmediatos. Esta disposición sobre vías principales, es comúnmente usada si se requiere solamente para iluminación doble propósito: la vehicular y la peatonal.

c) *Otras combinaciones*

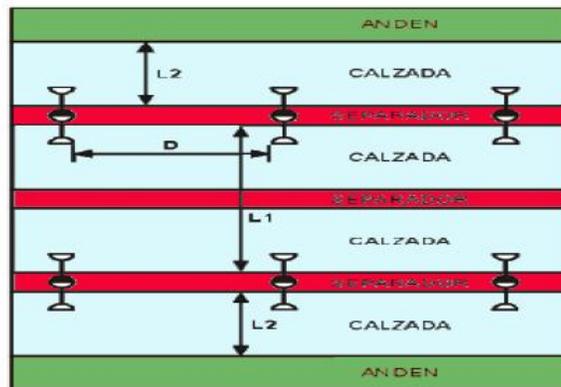
- c.1) En vías compuestas de cuatro (4) o más calzadas de circulación y que incluye parterres, generalmente 2 ó 3, se utilizan combinaciones de distribución de luminarias.

Las más comunes son: *Doble central doble*, en la cual cada dos calzadas se iluminan con disposición central sencilla, como aparece en la figura 10.

Cada calzada se trata separadamente desde el punto de vista del requerimiento lumínico.

Así, las calzadas en seguida de los andenes (carril de baja velocidad) pueden ser del tipo M3, en tanto que las calzadas centrales (calzadas principales) pueden ser del tipo M2.

**FIGURA 10. Disposición doble central doble**



- c.2) Otra forma muy eficiente para vías de cuatro calzadas es utilizar una distribución central sencilla para las calzadas centrales y una distribución bilateral alternada en conjunto con las centrales, para los carriles externos.

**4.3.2.10 Casos especiales de disposición de luminarias**

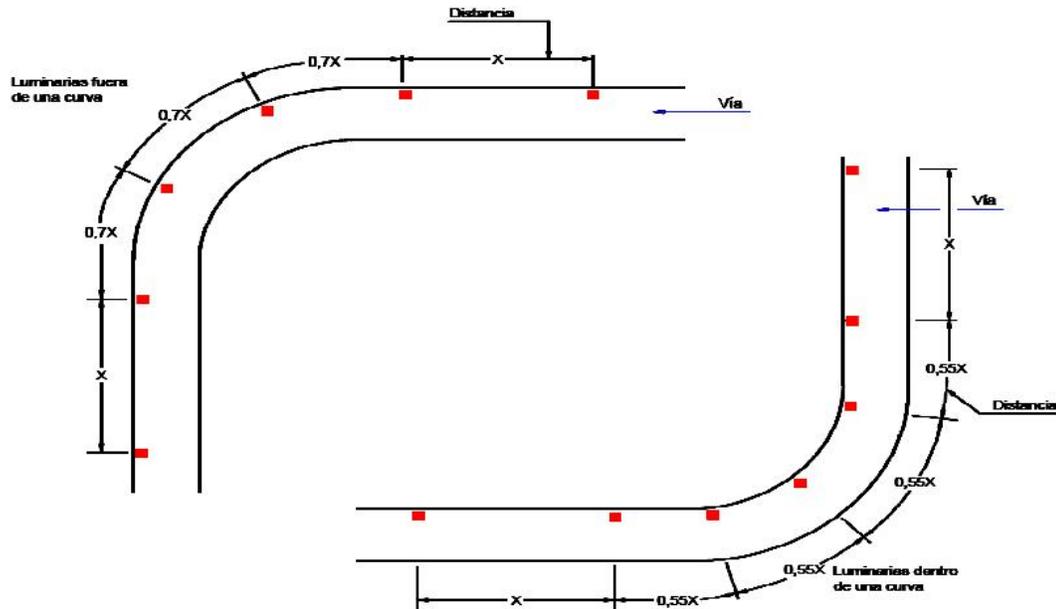
- a) En sitios críticos como bifurcaciones, curvas, cruces a nivel etc. se debe reforzar la iluminación y cumplir con las especificaciones fotométricas exigidas para cada sitio. El diseñador debe tener en cuenta las condiciones del tránsito automotor, la importancia relativa de las vías, la localización de monumentos, los obstáculos existentes, las señales de tránsito, etc.

Las recomendaciones que se dan a continuación no constituyen una solución definitiva para cada caso particular:

- a.1) *Disposición en curvas*. El trabajo visual del conductor en las curvas se aumenta, por lo que en curvas leves (entre 0° y 30°) se debe reducir la interdistancia básica a 0,90S en el trayecto de entrada o salida de la curva (normalmente comprende 100 a 200 m para velocidades de circulación de 60 ó 75 km/h respectivamente) y a 0,75S en el trayecto mismo de la curva (donde se ha trazado la vía con un radio dado).



FIGURA 11. Disposición de luminarias en trayectos curvos



Se considera que un tramo es realmente curvo, cuando el radio de curvatura del trazado de la carretera sobre su eje es mayor a 300 m.

Cuando se trata de curvas más pronunciadas (entre 30° y 90° y radio inferior a 300 m) la interdistancia se reduce hasta  $0,70S$  cuando las luminarias se encuentran instaladas en la acera exterior de la curva.

Si se encuentran en la acera inferior, esta reducción va hasta  $0,55S$ .

La disposición de las luminarias debe ser preferencialmente en la acera exterior de las curvas, con el fin de mantener una guía visual más estable, se deben usar distribuciones de luminarias del tipo unilateral o bilateral opuesta. Así mismo, se debe evitar el uso de la distribución bilateral alternada, porque puede causar confusión respecto a la forma del camino.

En este caso, la iluminación debe prestar una eficiente labor de señalización vial.

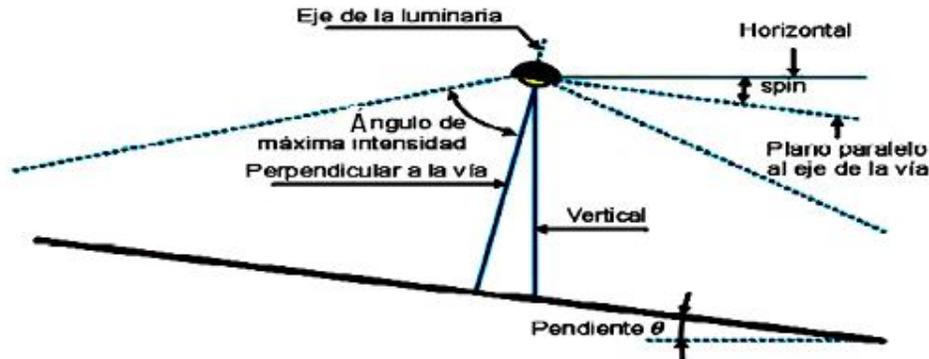
Otra distribución que debe evitarse es cambiar el sentido de la distribución unilateral al entrar a una curva y dejar luminarias justo al frente de la prolongación de la vía. Esto retarda la percepción de la curva por parte del conductor y aumenta la posibilidad de un accidente.

- a.2) *Disposición en calzadas con pendiente.* Cuando las luminarias están localizadas en calzadas en pendiente, se recomienda orientarlas de tal manera que el rayo de luz en el nadir sea perpendicular a la vía. El ángulo de giro formado entre el brazo y la luminaria, se denomina **Spin** y debe ser igual al ángulo de inclinación de la vía  $\theta$ . Esto asegura máxima uniformidad en la distribución de la luz y reduce el deslumbramiento de una manera eficaz.

Igual que en las curvas, el trabajo visual del conductor en una calzada en pendiente se aumenta. Se considera que una calzada está en pendiente, como para variar las condiciones de iluminación, cuando ésta excede los 3°, por debajo de este valor se considera la iluminación como un trayecto plano.

Al igual que en los trayectos curvos, los primeros 100 ó 200 m (dependiendo de la velocidad de circulación) al entrar a una sección de la calzada en pendiente, el diseñador debe reducir la interdistancia a  $0,90S$ . En la cima, unos 100 ó 200 m antes y después, dependiendo de la velocidad de circulación, la interdistancia se reduce paulatinamente hasta llegar a  $0,70 S$ . (ver la figura 12).

**FIGURA 12. Disposición de luminarias en calzada con pendiente**



Los postes, en estos trayectos en pendiente, deben permanecer verticales e independientes de la inclinación de la calzada.

Si un trayecto de la calzada es inclinado y además es curvo, los postes o apoyos de las luminarias deben ubicarse detrás de las barreras protectoras o naturales que existan, con el fin de evitar accidentes de tránsito y reducir sus complicaciones, cuando se produzcan.

#### 4.3.2.11 *Uso racional de energía en alumbrado público*

- a) Los diseños de alumbrado público deben tener presente el uso racional y eficiente de energía, por lo que se hace exigible la aplicación del concepto de densidad de potencia eléctrica, para lo cual se requiere del uso de fuentes de alta eficacia lumínica y luminarias de la mayor eficiencia.

#### 4.3.2.12 *Máxima densidad de potencia eléctrica para alumbrado de vías*

- a) Las vías con excepción de túneles, para velocidades inferiores a 60km/h, es decir aquellas diseñadas con el criterio de iluminancia no deben exceder los valores máximos de Densidad de Potencia para alumbrado de vías (DPEA) establecidos en la tabla, determinados con base en el valor de iluminancia promedio mantenida y el ancho de calzada correspondiente. Los valores no se deben exceder en el diseño ni posteriormente en la operación del sistema de alumbrado público.
- b) *Métodos de cálculo.* La determinación de la DPEA se calcula a partir de la carga total conectada para alumbrado y del área total por iluminar, de acuerdo a la metodología indicada a continuación.

$$DPEA = (\text{Carga total conectada para alumbrado}) / (\text{Área total iluminada})$$

Donde la **DPEA** está expresada en  $W/m^2$ , la carga total conectada para alumbrado está expresada en vatios y el área total iluminada está expresada en metros cuadrados.

En el cálculo no se deben incluir las áreas destinadas a aceras o similares si en diseño no los contempla como área objeto de iluminación.

- c) Para las vías diseñadas con el criterio de luminancia, es decir aquellas para velocidades superiores a 60 km/h , la máxima densidad de potencia la podrán sustituir por el criterio del Energy Efficiency Ratio cuya fórmula es:

$$EER= P / [L \times S ]$$

Donde:

P= potencia en W  
L = Luminancia mantenida. en Cd/m<sup>2</sup>  
S= Área en m<sup>2</sup>

En esta condición el máximo valor de EER aceptado será 0,8. W/cd adoptado de Green Light Label.

Los valores para cálculo serán tomados de la información suministrada por el fabricante bien sea de protocolos de prueba o de ficha técnica. Tal información debe corresponder con los equipos especificados por el diseñador para ser instalados en el proyecto particular, así como de los planos de distribución de luminarias. La verificación real se realizará con base en los equipos, distribución de luminarias y áreas iluminadas. En el cálculo se debe incluir las pérdidas asociadas al conjunto eléctrico de la luminaria, si esta lo requiere para su normal funcionamiento.

La vigilancia del cumplimiento de los valores permitidos de DPEA corresponderá a fiscalización y en el caso que aplique será verificado por el Organismo de Inspección.

En los sistemas de iluminación para vías a las cuales se les asignen las clases de iluminación P1 a P6, así como las clases C0 a C5, la eficacia mínima de las lámparas (fuentes luminosas) usadas no podrá ser inferior a 70 lm/W.

**TABLA 24. Valores máximos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) para vías vehiculares (W/m<sup>2</sup>)**



Nivel mantenido de iluminancia promedio lux (lx)	DENSIDAD DE POTENCIA (w/m <sup>2</sup> ) según ancho de la calzada (m)				
	< 6	6 a 8	8,1 a 10	10,1 a 12	12,1 a 14
3	0,29	0,26	0,23	0,19	0,17
4	0,35	0,32	0,28	0,26	0,23
5	0,37	0,35	0,33	0,30	0,28
6	0,44	0,41	0,38	0,35	0,31
7	0,53	0,49	0,45	0,42	0,37
8	0,60	0,56	0,52	0,48	0,44
9	0,69	0,64	0,59	0,54	0,50
10	0,76	0,71	0,66	0,61	0,56
11	0,84	0,79	0,74	0,67	0,62
12	0,91	0,86	0,81	0,74	0,69
13	1,01	0,94	0,87	0,80	0,75
14	1,08	1,01	0,94	0,86	0,81
15	1,12	1,06	1,00	0,93	0,87
16	1,17	1,10	1,07	0,99	0,93
17	1,23	1,17	1,12	1,03	0,97
18	1,33	1,26	1,20	1,10	1,04
19	1,40	1,33	1,26	1,17	1,10
20	1,47	1,39	1,33	1,23	1,16
21	1,55	1,46	1,39	1,29	1,22
22	1,62	1,53	1,46	1,35	1,27
23	1,69	1,60	1,53	1,41	1,33
24	1,76	1,67	1,59	1,47	1,39
25	1,83	1,73	1,66	1,53	1,45
26	1,90	1,80	1,73	1,60	1,51

Adaptación de la Norma Oficial Mexicana NOM-13-ENER-2004 (Reglamento Técnico).

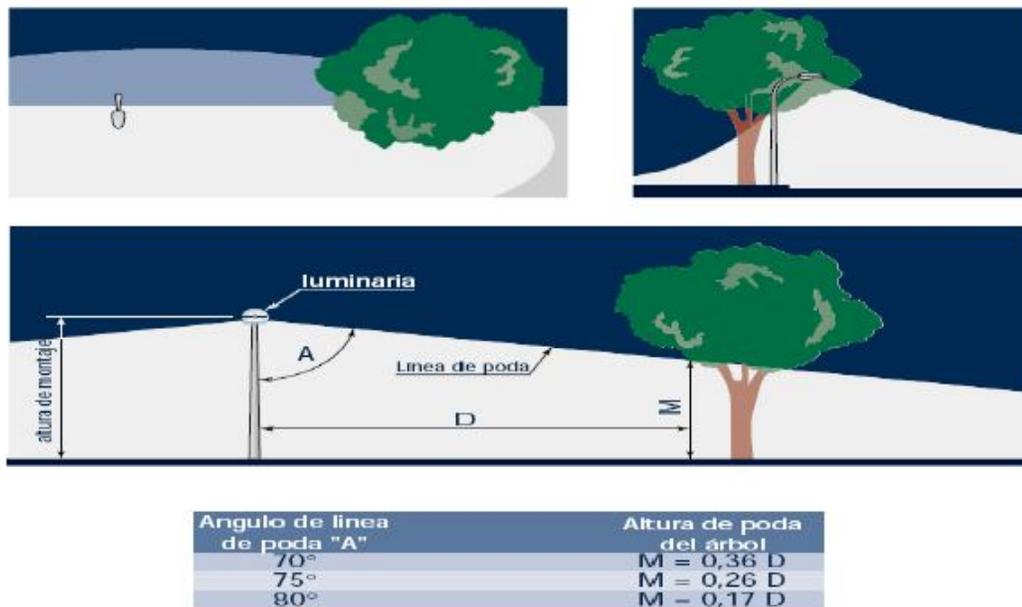
#### 4.3.2.13 Coexistencia de las luminarias con los árboles en las vías

- a) La arborización en el casco urbano de un municipio debe estar sometida, como todo lo público, a unas normas regulatorias que faciliten la coexistencia con la red eléctrica aérea o subterránea, las aceras, la iluminación y demás elementos del mobiliario urbano.
- b) Se deben evitar especies como el ficus, los cauchos y ceibas, mientras se recomienda plantar árboles de follaje liviano, lo cual se hace separando el punto de siembra al menos 1,5 m de la proyección que da la red aérea sobre el piso.
- c) Para lograr una coordinación entre la arborización y la iluminación pública es necesario, en algunos casos, efectuar desviaciones a los parámetros generales del diseño del alumbrado público para la vía, tales como la altura de montaje, interdistancia, disposición de las luminarias o su brazo de montaje. Cada caso debe tratarse separadamente, dependiendo de la vegetación considerada.
- d) Debe tenerse en cuenta que no es necesario podar los árboles mas allá de las ramas que interfieran con el haz luminoso útil (ver figura 13) ya que el follaje restante permite mejorar el apantallamiento de la instalación y por ende, mejora la visibilidad de obstáculos por efecto silueta.
- e) En todos los casos, es mejor planear desde el momento de iniciar el diseño de la calzada los sitios para las redes de servicios públicos, tanto aéreos como subterráneos. Si una luminaria debe cambiar su interdistancia en un 10%, esto no afectará la calidad de la iluminación de manera apreciable. Incluso si se trata de una sola luminaria, es aceptable hasta un 20% de desviación. El parámetro principal a cambiar, por efectos de la arborización, es el avance de la

luminaria sobre la calzada, el cual depende del brazo. De esta manera, se garantiza la efectividad y apariencia de la instalación de alumbrado.

- f) Se debe conceder a la arborización la importancia que merece como integrante del contexto urbano, en tal condición debe formar parte integral de los proyectos de diseño de alumbrado y se deben coordinar y jerarquizar las prioridades en la localización de los distintos componentes urbanos, dando valores racionales a cada uno de los objetivos de cada uno de estos componentes.

**FIGURA 13. Separación mínima entre los árboles y los postes con las luminarias de alumbrado público, para evitar sombras sobre la vía**



- g) Es necesario coordinar entre los diferentes entes municipales, para la selección de las especies que mejor se adapten y no riñan con el principal objetivo del alumbrado público que está orientado a la seguridad de las personas ya sean peatones o que se movilicen en vehículos.

#### 4.3.3 Diseños fotométricos

##### 4.3.3.1 Criterios de diseño

- a) En los diseños fotométricos de los proyectos de alumbrado público se deben tener en cuenta los siguientes lineamientos y conceptos generales, según se aplique:
- a.1) Se debe realizar el levantamiento de la infraestructura de alumbrado público existente (postes, luminarias, canalizaciones, transformadores, etc.), con el fin de determinar su continuidad, su retiro parcial o total, su reubicación o modificación, así como de integrarla con el nuevo proyecto para evitar la duplicidad de infraestructura de alumbrado público. Al efecto, se deberá evaluar la influencia de la iluminación existente que permanezca y la infraestructura aprovechable. En los casos de retiro, se deben relacionar las cantidades en las memorias del proyecto y en los planos definitivos, la identificación (rótulo) de cada luminaria que se eliminará o se reubicará. Esta información se debe consignar también en las actas de entrega de obra.
- a.2) En los casos en que se considere necesario alterar o restringir los parámetros para el diseño fotométrico (potencias de luminarias, niveles de iluminancia/luminancia, alturas de montaje de luminarias, condiciones especiales en el espacio público y su mobiliario urbano,

modulación arquitectónica, accidentes geográficos, restricciones por la interferencia con líneas eléctricas de alto voltaje, canales, ductos de servicio público, edificaciones, puentes, entradas vehiculares a supermercados, parqueaderos, estaciones de servicio, etc.), el diseñador debe registrar en el proyecto de tales situaciones.

- a.3) El diseño fotométrico debe concatenarse con los diseños de espacio público, de urbanismo y paisajismo, haciendo claridad en que la calidad y la cantidad de la iluminación deben prevalecer pero manteniendo armonía con la modulación del espacio público y la ubicación del mobiliario urbano.

- a.4) Para proyectos de diseño de alumbrado público en general, en lo posible y dependiendo de la magnitud de la obra, se debe disponer como mínimo de tres alternativas de diseños fotométricos utilizando luminarias certificadas de diferentes marcas. Los planos de los diseños fotométricos deben entregarse debidamente identificados y avalados por el responsable de su elaboración.

Con el propósito de garantizar el manejo de intersecciones y transiciones en los cambios de perfil, no se deberá aceptar la presentación de los proyectos fotométricos en tramos o perfiles típicos, sino que se deben desarrollar en su totalidad, permitiendo reflejar las cantidades de obra del proyecto.

Los cálculos fotométricos se deben realizar para cada tipo de perfil de vía y en las zonas críticas.

En caso de presentarse modificaciones posteriores, se debe indicar la versión y la fecha de actualización.

- a.5) Como resultado del diseño fotométrico, se debe especificar en forma escrita en las memorias de cálculo y gráficamente sobre los planos de diseño fotométrico lo siguiente: la altura de montaje, perfil de la vía (ancho de aceras, calzadas, ciclo rutas, etc.), interdistancias, inclinación, posición de lámpara y avance de la luminaria.

Se debe dar claridad en lo que respecta al ángulo de inclinación del conjunto brazo-luminaria (conjunto óptico) y su avance total. Así mismo, anexas la matriz de intensidades certificada con la cual se realizan los cálculos, se debe indicar la posición (reglaje) de la lámpara a la cual corresponden. La información antes descrita de los estudios y diseños fotométricos de la alternativa seleccionada debe consignarse también en los planos eléctricos. Toda la anterior documentación se debe usar en las labores de construcción, fiscalización e inspección por parte de los organismos acreditados.

- a.6) Las zonas peatonales deben iluminarse en lo posible con las mismas luminarias que iluminan las vías. La utilización del sistema doble propósito o doble luminaria para la iluminación de calzadas y de manera simultánea ciclo rutas, aceras y demás áreas peatonales, se debe aplicar sólo cuando los niveles calculados obtenidos por la influencia de las luminarias dispuestas para la calzada no sea suficiente, lo cual debe demostrarse y soportarse con cálculos fotométricos o con mediciones de campo. Así mismo, no se deben proyectar luminarias hacia las aceras en sistema doble o doble propósito, cuando éstas sean de ancho igual o inferior a 3 m o se presente interferencia con edificaciones, árboles, etc.

- a.7) Cuando exista o se proyecten vías con parterres con un ancho mayor o igual a 1,5 m debe darse prioridad al diseño con disposición central doble, sin detrimento de la cantidad y la calidad de la iluminación de las áreas peatonales, ciclo rutas y demás áreas en las aceras.

En los parterres se deben utilizar postes con doble luminaria a menos que el ancho del parterre sea mayor de 4 m u otros factores debidamente justificados obliguen a la instalación de doble fila de postes con luminarias sencillas.

- a.8) En lo referente a la proyección de arborización o coexistencia con árboles, deben considerarse distancias mínimas a los postes de alumbrado público, dependiendo del porte

de los árboles proyectados o existentes, con el fin de evitar la interferencia futura del follaje con la distribución del flujo luminoso.

- a.9) En las intersecciones viales grandes y complejas como glorietas y puentes vehiculares a diferentes niveles, o en plazas y otras áreas de gran extensión, se debe considerar la conveniencia de instalar luminarias o proyectores para fuentes de sodio de alta presión y potencias grandes, en postes de 16 m a 27 m para lograr una iluminación general, y comparar con alternativas que usen postes de menor altura y fuentes de menor potencia con instalación localizada o puntual. Para estos efectos es importante verificar todos los aspectos técnicos, arquitectónicos, sociales y económicos (costos iniciales, de operación: mantenimiento y consumo de energía y de reposición y de eficiencia energética), sin desconocer aspectos prácticos como las facilidades de acceso al mantenimiento periódico (sustitución de componentes, limpieza del compartimiento óptico, pintura, etc.) y la confiabilidad del sistema seleccionado.

#### **4.3.3.2** *Uso de software en el diseño fotométrico de alumbrado público*

- a) Para efectos de hacer la evaluación técnica y financiera necesaria y la comparación con otras alternativas, los diseñadores y fabricantes de luminarias o sistemas de iluminación que presenten propuestas con diseño fotométrico usando software especializado, deben suministrar la información necesaria que le permita al evaluador o a quien tome determinaciones sobre el proyecto, comparar y recomendar la propuesta que presente los mejores resultados técnicos y económicos.

Aunque el software especializado de iluminación no requiere de un certificado de conformidad de producto. Debe cumplir con los siguientes requisitos para que pueda ser tenido en cuenta en la presentación de resultados de diseños fotométricos:

- a.1) El software debe ser manejado por un profesional competente para su alimentación con datos y la interpretación de los resultados que arroje, quien deberá responsabilizarse de los resultados suscribiéndolos y firmándolos. Es importante señalar que en una metodología para el diseño de iluminación mediante software especializado, además de los resultados que arroja el programa de computador, se requiere de la interpretación de los mismos por parte de un especialista en diseño de iluminación.
- a.2) El software para el diseño de alumbrado público debe utilizar en sus rutinas de cálculo la metodología de la norma CIE 140.
- a.3) El software debe permitir el ingreso de todos los parámetros y variables necesarios para realizar el diseño tales como: matrices de información fotométrica certificada en coordenadas CIE o IESNA, factor de mantenimiento, altura de montaje, ángulo de inclinación de la luminaria, reglaje de luminarias, interdistancia de luminarias, avance, ancho de la vía, entre otros.
- a.4) El software deberá obtener los resultados en forma numérica de luminancia media, uniformidad, iluminancia mínima y media, TI, uniformidad longitudinal, relación de alrededores (SR). Igualmente podrá contar con módulo gráfico de resultados.
- a.5) El software debe permitir la identificación y medidas de las mallas de cálculo, así como las posiciones del observador.

#### **4.3.4** *Cálculos de iluminancia para alumbrado público*

- a) Para iniciar un cálculo lumínico destinado a alumbrado público, se deben tener en cuenta tanto la función del espacio público como los detalles y características del sitio de instalación y de los puntos de luz. La exigencia del alumbrado público está en relación directa con la intensidad del tráfico y la velocidad media de los vehículos que la transitan.
- b) Los cálculos de diseño de alumbrado público se deben hacer con base en luminancia o iluminancia según requerimientos particulares.

A continuación se definirá la forma de realizar cada uno de los cálculos lumínicos necesarios en los proyectos de iluminación.

- c) Si se requiere un análisis detallado del diseño, se hace esencial la utilización del computador para confiabilidad y agilidad de los cálculos, los cuales se realizan con base en los datos fotométricos certificados de las luminarias suministradas por los fabricantes o comercializadores.

#### **4.3.4.1** *Iluminancia en un punto*

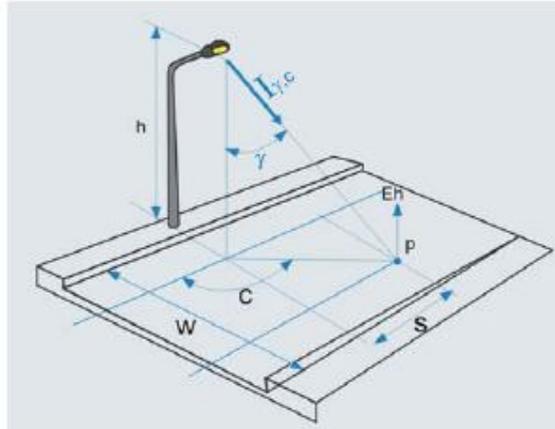
- a) La metodología parte de la fórmula dada para la Ley del coseno que aplicada a la geometría del sistema dada en la figura 14 permite obtener un valor para la iluminancia horizontal en el punto. Donde  $h_m$  es la altura de montaje de la luminaria,  $\theta$  es el ángulo de incidencia del haz de luz o candelas representado por  $I_a$  en la dirección al punto P. El diseñador debe obtener el valor de  $I_a$  a partir de la matriz de intensidades y la geometría del sistema.
- b) Es necesario tener en cuenta que si hay más de una fuente aportando luz al punto de cálculo P, es necesario considerar cada aporte por separado y luego sumarlos.

La iluminancia en un punto, también se puede obtener utilizando el diagrama con las curvas isolux de la luminaria.

- c) En los diagramas isolux aparecen las iluminancias en valores reales o en porcentaje de la iluminancia máxima y generalmente se dan para una altura de montaje de la luminaria de 1,0 m y flujo luminoso de la lámpara de 1 000 lúmenes. La curva isolux puede tener cualquier escala horizontal en mm/m.



FIGURA 14. Parámetros para calcular la iluminancia en el punto P



$E_p = \sum \frac{n I_{\gamma,c}}{h_m^2} \cos^3 \gamma$	Donde: $I_{\gamma,c}$ : Intensidad luminosa en dirección del punto P, determinada por los ángulos $\gamma$ y C. $\gamma$ : Ángulo vertical sobre el plano C considerado . $h_m$ : Altura de montaje de la luminaria. $n$ : Número de luminarias.
---	--

- d) Para obtener la iluminación producida por una luminaria en un punto, se toma el diagrama isolux hecho en papel transparente, se coloca su centro sobre la proyección de la luminaria sobre el plano de la calzada, el cual se debe elaborar a un tamaño proporcional a la escala del diagrama Isolux dividido por la altura de montaje de la luminaria. El valor de la iluminancia en el punto, se puede leer directamente del diagrama o si está en porcentaje de la iluminancia máxima, se puede obtener multiplicando el valor de la curva isolux por:

$$E_{\text{máx}} = \emptyset = (\text{Flujo de la lámpara utilizada}) / (\text{hm}^2)$$

Donde:

$$\text{hm} = (\text{Altura de montaje})$$

- e) Cuando se tiene más de una luminaria en la calzada, que es el caso más real y se necesita conocer la iluminancia total en el punto P, con el aporte de cada una de las luminarias que tienen influencia en dicho punto, se utiliza el siguiente método:

- Se dibuja el plano de la calzada en escala igual a la del diagrama Isolux de las luminarias, dividido entre la altura de montaje. En este plano se localizan las luminarias y el punto P.
- El diagrama isolux, hecho en papel transparente, se hace girar 180° con respecto a las luminarias y se coloca en el punto central sobre el punto P.
- Sin mover el diagrama se lee la contribución de todas las luminarias que tienen influencia sobre este punto.
- Se suman las contribuciones de cada una de las luminarias, obteniendo el valor de la iluminancia total sobre el punto P o el porcentaje de la  $E_{\text{máx}}$ , en este último caso se multiplica por  $n\emptyset / \text{hm}^2$ , para obtener la iluminancia total sobre el punto en cuestión.

#### 4.3.4.2 Métodos de cálculo de iluminancia promedio de una vía

- a) Para los cálculos de iluminancia promedio de una vía se debe aplicar la metodología especificada en la norma CIE 140.

#### 4.3.4.3 Cálculos computarizados de iluminancia

- a) Con el advenimiento de las computadoras y el software para cálculo de iluminación, la dificultad para obtener los valores de manera manual, prácticamente desapareció y hoy en día, todos los cálculos comerciales se realizan a través de software especializado. Así mismo, se puede incrementar el número de puntos considerados.
- b) La iluminancia horizontal en un punto se calcula a partir de la siguiente fórmula u otra matemáticamente equivalente:

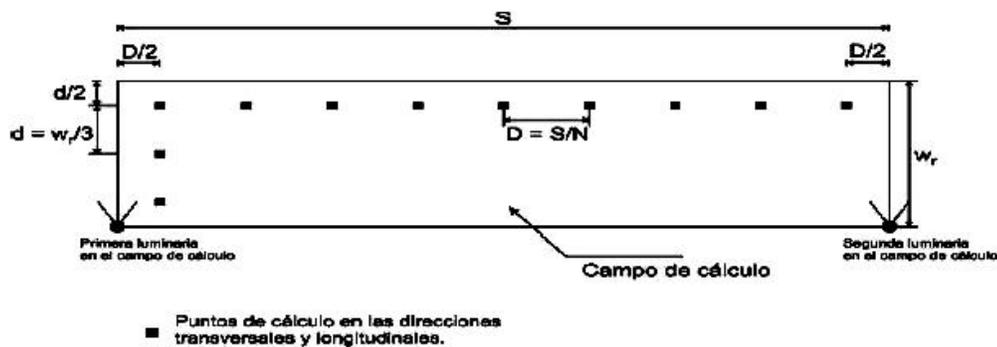
$$E_h = \frac{\sum I(c, \gamma) \cos^3 \gamma \phi FM}{H^2}$$

Donde:

- E<sub>h</sub> = luminancia horizontal mantenida en el punto, en luxes. Indica la sumatoria de la contribución de todas las luminarias.
- I (c, γ) = intensidad en cd/klm emitida por la luminaria en la dirección del punto; ángulo de incidencia de la luz en el punto.
- H = altura de montaje en m de la luminaria.
- Φ = Flujo luminoso inicial en klm de la lámpara o lámparas de la luminaria.
- FM = Factor de mantenimiento.

**4.3.4.4 Campo de cálculo.** El campo de cálculo deberá ser típico del área de la calzada que le interesa al conductor y al peatón; puede incluir las aceras, los carriles de ciclo rutas y las zonas peatonales. Como se muestra en la figura 15, el área se limita por los bordes de las calzadas (incluidas ciclo rutas y zonas peatonales, si es aplicable) y por las líneas transversales a través de dos luminarias consecutivas.

FIGURA 15. Puntos de cálculo para la iluminancia



#### 4.3.4.5 Posición de los puntos de cálculo

- a) Los puntos de cálculo se deben espaciar uniformemente en el campo de cálculo (ver la figura 14) y su número se debe escoger como sigue:
  - a.1) En la dirección longitudinal, el espaciado en la dirección longitudinal debe determinarse a partir de la ecuación  $D = S/N$ , en donde:

D = Es el espaciado entre puntos en la dirección longitudinal (m).

S = Es el espaciado entre luminarias (m), y

N = Es el número de puntos de cálculo en la dirección longitudinal con los siguientes valores.



Para S menor o igual a 30 m,  $N = 10$

Para S mayor de 30 m, el entero más pequeño para que se obtenga D menor o igual a 3 m.

La primera fila transversal de puntos de cálculo se espacia a una distancia  $d/2$  más allá de la primera luminaria (m).

- a.2) En la dirección transversal. El espaciado (d) en la dirección transversal se determina a partir de la ecuación:

$$d = Wr/3.$$

Donde:

d = Es el espaciado entre puntos en la dirección transversal (m)

Wr = Es el ancho de la calzada o del área aplicable (m)

El espaciado de los puntos de los bordes del área aplicable es  $D/2$  en la dirección longitudinal y  $d/2$  en la dirección transversal como se indica en la figura 15.

- a.3) Número de luminarias incluidas en el cálculo. Para el diseño se deben considerar las luminarias que estén dentro de un valor igual a cinco veces la altura de montaje desde el punto de cálculo.

#### 4.3.4.6 Cálculos en aceras y carriles para ciclo rutas

- a) Los puntos de cálculo se deben espaciar uniformemente en el campo de cálculo, y su número se debe escoger de la siguiente forma:

- a.1) *Dirección longitudinal.* Si las aceras o los carriles de ciclo rutas son de la misma clase de iluminación que la calzada, pueden considerarse conjuntamente con la calzada para determinar el espaciado de los puntos de cálculo en la dirección longitudinal, en caso contrario se aplica nuevo campo de cálculo según la figura 15.

- a.2) *Dirección transversal.* Se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$df = Wf/n.$$

Donde:

df = Es el espaciado entre puntos de la dirección transversal en metros.

Wf = Es el ancho de la acera o del carril de la ciclo ruta en metros.

n = Es el número de puntos en la dirección transversal con los siguientes valores.

Para Wf menor o igual a 1,0 m,  $n = 1$ , para Wf mayor que 1,0; n es el número más pequeño para que se obtenga df menor o igual a 1,0 m.

Los puntos adyacentes al borde de la calzada deben espaciarse desde el borde de la calzada a la mitad de la distancia entre puntos.

Para el número de luminarias incluidas en el cálculo, se aplica el mismo criterio de las calzadas.

#### 4.3.4.7 Áreas de forma irregular

- a) Estas pueden incluir zonas residenciales y áreas donde predomina la actividad peatonal.

Los puntos de cálculo deben incluir áreas aplicables y estar sobre una malla con un espaciado entre puntos no mayor de 5 m. Para áreas de un interés o una importancia particular se debe considerar un espaciado de alrededor de 1,0 m.

El número de luminarias incluidas en el cálculo debe ser el mismo número utilizado para los cálculos de la calzada.

#### 4.3.4.8 Cálculo de la uniformidad general de iluminancia en alumbrado público

a) El valor del coeficiente de uniformidad general de iluminancia se calcula de acuerdo con los dos criterios siguientes:

a.1) Como  $U_o = E_{\min}/E_{\text{prom}}$ . Tomando como base los puntos evaluados en el campo típico de la vía, del método computacional, donde:

$E_{\min}$  corresponde al punto de menor iluminancia entre todos los puntos calculados.

$E_{\text{prom}}$  corresponde al valor promedio calculado entre todos los  $n$  puntos considerados, desde el primero hasta el final  $E_n$ . La fórmula aplicable es:

$$E_{\text{prom}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_i}{n}$$

a.2) Como  $U_g = E_{\min} / E_{\max}$ . Tomando como base los puntos evaluados en el campo típico de la vía, del método computacional. Donde:

$E_{\min}$  corresponde al punto de menor iluminancia entre todos los puntos calculados.

$E_{\max}$  corresponde al valor de mayor iluminancia calculado entre todos los puntos considerados.

#### 4.3.4.9 Cálculo del valor de relación de alrededores-SR

a) La relación de alrededores es la iluminancia horizontal promedio en dos franjas longitudinales, cada una adyacente a los dos bordes de la calzada, pero que están situadas fuera de la calzada, dividida por la iluminancia horizontal promedio en dos franjas longitudinales cada una adyacente a los dos bordes de la calzada pero que están situadas sobre ésta misma.

b) El ancho de las cuatro franjas debe ser igual a 5,0 m o a la mitad del ancho de la calzada o el ancho de la zona sin obstáculos que caiga fuera de la calzada, cualquiera que sea la menor de ellas. Para calzadas dobles, ambas calzadas se deben tratar conjuntamente como si fueran una única, a menos que estén separadas por más de 10 m.

c) La iluminancia promedio en las franjas sobre y adyacente a la calzada deben calcularse por el mismo procedimiento o por un procedimiento matemáticamente equivalente al utilizado para calcular la iluminancia promedio en los pasos peatonales. Esta iluminancia promedio debe mantenerse en toda la extensión del andén.

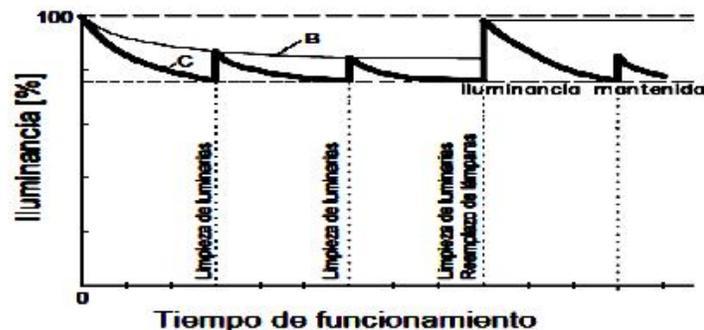
#### 4.3.4.10 Esquema de mantenimiento de instalaciones de alumbrado público

a) Todas las instalaciones de alumbrado público deben contar con un plan de mantenimiento que garantice el mantenimiento de los niveles de eficiencia energética y los parámetros de iluminación. Este plan de mantenimiento debe incluir entre otras informaciones, el periodo de limpieza del conjunto óptico de las luminarias y de cambio de las lámparas (ver la figura 16). La curva B corresponde a la curva de depreciación del flujo luminoso de la lámpara (DLB). La curva C corresponde a la curva del factor de ensuciamiento (FE).

b) El diseñador de un proyecto de alumbrado público debe presentar el esquema de mantenimiento de la instalación de alumbrado, con base en los datos que utilizó para el cálculo de factor de mantenimiento (FM) establecido en el presente reglamento.

- c) La periodicidad de la limpieza del conjunto óptico de la luminaria y del cambio de las lámparas debe ser tal que garanticen que la instalación de alumbrado público no va a estar funcionando con valores de iluminancia promedio por debajo de los mínimos mantenidos.
- d) Hay que resaltar, como se puede ver en la figura 16, que con el mantenimiento nunca se restablecen las condiciones iniciales, por cuanto hay factores que son no controlables, como la depreciación de la luminaria debido al envejecimiento y a la degradación de sus materiales, que producen un aumento de la opacidad y/o reducción de reflectividad en los materiales del conjunto óptico de la luminaria. A medida que pasa el tiempo, el valor de iluminancia promedio de la instalación se va alejando del valor inicial de iluminancia promedio (100%), hasta llegar al final de la vida útil de las luminarias. Un caso extremo sería cuando las luminarias con lámparas nuevas, escasamente produzcan el valor de iluminancia mínimo mantenido.

**FIGURA 16. Esquema de mantenimiento de una instalación de alumbrado público**



- e) El operador del servicio de alumbrado público debe tener en cuenta, para el programa de mantenimiento de las instalaciones de alumbrado público, el esquema de mantenimiento establecido en el diseño del proyecto; aunque con base en los resultados de los trabajos de mantenimiento, el operador deberá ir haciendo ajustes a la curva del programa de mantenimiento suministrada por el diseñador del proyecto, con todas las actividades necesarias para garantizar los niveles de iluminación diseñados y establecidos al recibo inicial del proyecto. Fiscalización debe verificar el cumplimiento del esquema de mantenimiento.

#### 4.3.5 Cálculos de iluminancia

4.3.5.1 El presente modelo de cálculo debe ser aplicado a calzadas secas y rectas. Fue desarrollado por la CIE y se encuentra documentado en la publicación *CIE 30-2 1982* y *CIE 140-2000*.

Es claro el hecho que la visión cómoda y segura depende del contraste y acomodación del ojo y que a su vez estos factores dependen de la luminancia tanto sobre la vía como sobre los objetos a ver. Así, la iluminancia es un factor que depende de la cantidad de luz que incide sobre la vía, en tanto que la luminancia depende de la cantidad de luz reflejada que llega al observador.

En consecuencia, la luminancia en alumbrado público depende de:

- La cantidad de luz que llega a la calzada.
- La posición del observador.
- Las características reflectivas propias de la calzada.

#### 4.3.5.2 Coeficiente de luminancia

- a) Para poder calcular la luminancia de una superficie es necesario conocer sus propiedades de reflexión.

Para tales efectos se puede definir un coeficiente de reflexión  $q$ , como la relación entre la luminancia y la iluminancia de un punto de la superficie de tal modo que:

$$q = L/E_h.$$

Donde:

$q$  = Coeficiente de luminancia en el punto P.

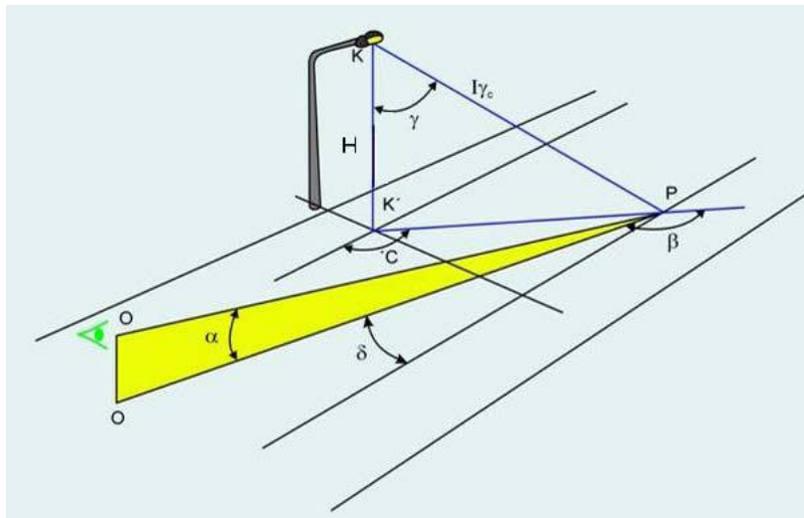
$L$  = Luminancia en el punto P

$E_h$  = Iluminancia horizontal en el punto P.

$$q = f(\text{calzada}, \alpha, \beta, \vartheta, \delta)$$

- b) El coeficiente de luminancia para una calzada dada es función de la dirección de incidencia de la intensidad luminosa, de la dirección de observación y, de manera general de los cuatro ángulos ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\vartheta$ ,  $\delta$ ), representados en la figura 17.

**FIGURA 17. Parámetros a considerar en el cálculo de luminancia**



- c) Para el área de la calzada considerada por un conductor comprendida entre 60 m y 160 m delante de él,  $\alpha$  sólo varía entre  $0,5^\circ$  y  $1,5^\circ$ . Dado que la dependencia de  $q$  con respecto a  $\alpha$  permanece prácticamente constante, es usual que los coeficientes de luminancia sean determinados con  $\alpha$  mantenida constante a  $1^\circ$  en relación con el ángulo  $\delta$ , que varía entre  $0^\circ$  y  $20^\circ$ , no incide en el cálculo y en la práctica se desprecia. Este es el estándar de la CIE.
- d) En consecuencia, el coeficiente de luminancia para una calzada específica depende de la posición del observador y de la posición de la fuente de luz con respecto al punto considerado (ver figura 16) de modo que pueda establecerse una función:

$$q = f(\beta, \vartheta)$$

Así pues, el coeficiente  $q$  puede tabularse en función de las dos variables independientes descritas  $\beta$  y  $\vartheta$  en diferentes tabulaciones de acuerdo con otros factores que diferencian las características reflectivas de las calzadas.

Se pueden introducir otros factores en la tabulación con el fin de simplificar el cálculo, obtener, entonces, una tabulación más fácil de manejar porque los términos I (Intensidad luminosa), H (Altura de montaje de la fuente) están disponibles más fácilmente en el sistema.

En conclusión la luminancia puede definirse de la siguiente manera:

$$L = q \cdot E$$

$$E = \frac{I}{H^2} \cos^3 \gamma$$

$$L = \frac{I}{H^2} (q \cdot \cos^3 \gamma)$$

El término entre paréntesis ( $q \cos^3 \gamma$ ) se conoce como coeficiente reducido de luminancia - $r$ -, en consecuencia:

$$L = \frac{1}{H^2} I \cdot r$$

- e) *Coeficiente reducido de luminancia  $r$* . Las tablas que caracterizan las propiedades reflectivas de una superficie no se dan en términos del coeficiente de luminancia  $q$  sino del coeficiente de reducción de luminancia  $r$ . Estas tabulaciones características se denominan tablas R.

A partir de las tablas R es muy fácil calcular la luminancia en cada punto, pues basta determinar los ángulos  $\beta$  y  $\gamma$  del punto considerado para tener el factor  $r$ . La intensidad luminosa y la altura de montaje se calculan con la matriz de intensidades de la luminaria y con la geometría del sistema, respectivamente.

Ahora bien, se estudiará el modelo de *tabla R* para diferentes tipos de superficies.

#### 4.3.5.3 Clasificación de las superficies de las calzadas (estado seco)

- a) Para los cálculos de luminancia, las propiedades de reflexión de la superficie de una vía se deben definir con tres parámetros característicos que son:

— El factor especular  $S1$  definido como la relación  $r_{(0,2)} / r_{(0,0)}$ .

— El factor especular  $S2$  definido como la relación  $Q_o / r_{(0,0)}$ .

— El coeficiente promedio de luminancia  $Q_o$  conocido también como grado de claridad de la superficie.

$r_{(0,2)}$  significa el coeficiente reducido de luminancia evaluado para  $\beta = 0^\circ$  y  $\tan \gamma = 2$

$r_{(0,0)}$  significa el coeficiente reducido de luminancia evaluado para  $\beta = 0^\circ$  y  $\tan \gamma = 0$

$$Q_o = \frac{\int_{\omega} q d\omega}{\int_{\omega} d\omega}$$

Donde:

$q$  = Coeficiente de luminancia (depende de los ángulos  $\beta$  y  $g$ ).

$\omega$  = Ángulo sólido que contiene todas aquellas direcciones de incidencia de luz sobre un punto en la vía y que se toman en cuenta en el proceso de medida ( $\beta$  varía entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$  y  $g$  varía entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ ).

- b) Si para verificar en el terreno los cálculos de luminancia se utilizan las tres características, ( $S_1$ ,  $S_2$  y  $Q_o$ ) éstas se deben determinar mediante mediciones sobre una muestra real de la calzada, lo cual permite definir la matriz del revestimiento de la calzada. Para estas mediciones se podrá utilizar un instrumento denominado reflectómetro de superficies de calzadas.
- c) Cuando no se puedan hacer las medidas reales de la superficie de la calzada, se podrán estimar las características de la superficie usando valores normalizados, para ello las calzadas se han clasificado de acuerdo con los tres factores definidos anteriormente y se tienen cuatro calzadas tipo.

**TABLA 25. Clasificación de superficies según el factor  $S_1$**

Clase	Variación $S_1$	$S_1$	$S_2$	$Q_o$	Reflexión
<b>R1</b>	$S_1 < 0,42$	0,25	1,53	0,10	Casi difusa
<b>R2</b>	$0,42 \leq S_1 < 0,85$	0,58	1,80	0,07	Difuso especular
<b>R3</b>	$0,85 \leq S_1 < 1,35$	1,11	2,38	0,07	Ligeramente especular
<b>R4</b>	$S_1 \geq 1,35$	1,55	3,03	0,08	Especular

- d) El coeficiente  $S_1$  es el que define la forma básica del cuerpo  $R$ , aunque el brillo sea el mismo, una superficie reflejará diferente cantidad de luz según varíe este coeficiente (ver tabla 25).
- e) Cada tipo de superficie de calzada de la misma clase se caracterizará por un solo cuerpo o tabla  $R$  típico de esa clase. Esto hace que las tablas  $R$  funcionen como patrón mediante el cual pueden llevarse a cabo los cálculos de luminancia. Las características resumidas de las cuatro (4) tablas  $R$ , de acuerdo con el patrón definido por la CIE, se dan a continuación:

**TABLA 26. Designación aproximada de superficies en las clases típicas.**

Clase	Características superficie
R1	Superficies de asfalto con un mínimo del 15 % de materiales abrillantadores o materiales artificiales claros o al menos un 30 % de anortositas muy brillantes. Superficies que contienen gravas que cubren más del 80% de la superficie de la calzada, y las gravas constan de gran cantidad de material claro o de abrilladores o están compuestas al 100% de anortositas muy brillantes. Superficies de calzada de hormigón de concreto.
R2	Superficies con textura rugosa que contienen agregados normales . Superficies asfálticas (pavimentos bituminosos que contienen el 10% al 15% de abrilladores artificiales. Hormigón bituminoso grueso y rugoso, rico en gravas (más del 60%) de tamaños mayores a 10 mm . Asfalto mástico después de ser tratado. Se conoce también como asfalto mástico en estado nuevo.
R3	Revestimiento en Hormigón bituminoso (asfalto frío, asfalto cemento) con tamaño de grava superior a 10 mm, con textura rugosa . Superficies tratadas con textura rugosa pero pulimentada.
R4	Asfalto mástico después de varios meses de uso . Superficies con textura bastante suave o pulimentada.

- f) Cuando el valor  $Q_o$  de una superficie sea diferente al valor para el cual se hizo la tabla patrón, los valores R de la tabla patrón deben multiplicarse por la relación entre el valor  $Q_o$  real de la superficie y el valor  $Q_o$  de la tabla patrón. En los casos donde las características de reflexión  $S_1$  y  $Q_o$  no se puedan medir ni determinar, partiendo del conocimiento o la experiencia previos, puede conseguirse una orientación aproximada escogiendo un tipo de tabla R de acuerdo con el tipo de acabado de la calzada y de los materiales utilizados en su construcción.

La luminancia en un punto se determina aplicando la siguiente fórmula o una fórmula matemáticamente equivalente:

$$L = \sum I(C,\gamma) r \phi F_M 10^{-4} / H^2$$

Donde:

L = Es la luminancia mantenida en  $cd/m^2$

S = Representa la sumatoria de las contribuciones de todas las luminarias.

r = Es el coeficiente de luminancia reducido, para un rayo de luz que inicia con unas coordenadas angulares ( $\beta, \vartheta$ ).

$I(C,\vartheta)$  = Es la intensidad luminosa en la dirección (C, $\vartheta$ ),  $cd/klm$ .

$\phi$  = Es el flujo luminoso inicial en  $klm$  de las fuentes de cada luminaria.

$F_M$  = Factor de mantenimiento.

H = Es la altura de montaje en m de la luminaria por encima de la superficie de la calzada.

- g) Salvo que se especifique lo contrario para el revestimiento asfáltico de la calzada, se debe utilizar la matriz R3 de la CIE con  $Q_o = 0,07$ , que corresponde al tipo de pavimento que se considera más usado.

#### 4.3.5.4 Tablas R

- a) Son el resultado de análisis de observaciones y mediciones en distintos lugares y se deben aplicar de acuerdo con el tipo de superficie descrito en las siguientes tablas:



**TABLA 27a. Tabla r para superficie estándar R1**

$\beta$ Tan $\gamma$	Qo= 0.10					S1= 0.25					S2= 1.53									
	0°	2°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
0.00	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655
0.25	619	619	619	619	610	610	610	610	610	610	610	610	610	601	601	601	601	601	601	601
0.50	539	539	539	539	539	539	521	521	521	521	521	503	503	503	503	503	503	503	503	503
0.75	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	395	386	371	371	371	371	371	386	395	395
1.00	341	341	341	341	323	323	305	296	387	387	278	269	269	269	269	269	269	278	278	278
1.25	269	269	269	260	251	242	224	207	198	189	189	180	180	180	180	180	189	198	207	224
1.50	224	224	224	215	198	180	171	162	153	148	144	144	139	139	139	144	148	153	162	180
1.75	189	189	189	171	153	139	130	121	117	112	108	103	99	99	103	108	112	121	130	139
2.00	162	162	157	135	117	108	99	94	90	85	85	83	84	84	86	90	94	99	103	111
2.50	121	121	117	95	79	66	60	57	54	52	51	50	51	52	54	58	61	65	69	75
3.00	94	94	86	66	49	41	387	36	34	33	32	31	31	33	35	38	40	43	47	51
3.50	81	80	66	46	33	28	25	23	22	22	21	21	22	22	24	27	29	31	34	38
4.00	71	69	55	32	23	20	18	16	15	14	14	14	15	17	19	20	22	23	25	27
4.50	63	59	43	24	17	14	13	12	12	11	11	11	12	13	14	14	16	17	19	21
5.00	57	52	36	19	14	12	10	9.0	9.0	8.8	8.7	8.7	9.0	10	11	13	14	15	16	16
5.50	51	47	31	15	11	9.0	8.1	7.8	7.7	7.7										
6.00	47	42	25	12	8.5	7.2	6.5	6.3	6.2											
6.50	43	38	22	10	6.7	5.8	5.2	5.0												
7.00	40	34	18	8.1	5.6	4.8	4.4	4.2												
7.50	37	31	15	6.9	4.7	4.0	3.8													
8.00	35	28	14	5.7	4.0	3.6	3.2													
8.50	33	25	12	4.8	3.6	3.1	2.9													
9.00	31	23	10	4.1	3.2	2.8														
9.50	30	22	9.0	3.7	2.8	2.5														
10.00	29	20	8.2	3.2	2.4	2.2														
10.50	28	18	7.3	3.0	2.2	1.9														
11.00	27	16	6.6	2.7	1.9	1.7														
11.50	26	15	6.1	2.4	1.7															
12.00	25	14	5.6	2.2	1.6															



TABLA 27b. Tabla r para superficie estándar R2

		Qo= 0.07 S1= 0.58 S2= 1.80																			
$\beta$	$0^\circ$	$2^\circ$	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$25^\circ$	$30^\circ$	$35^\circ$	$40^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$75^\circ$	$90^\circ$	105	120	135	150	165	180	
<b>Tan <math>\gamma</math></b>																					
0.00	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390
0.25	411	411	411	411	411	411	411	411	411	411	379	368	357	357	346	346	346	335	335	335	355
0.50	411	411	411	411	403	403	384	379	370	346	325	303	281	281	271	271	271	260	260	260	260
0.75	379	379	379	369	357	346	325	303	281	260	238	216	206	206	206	206	206	206	206	206	206
1.00	335	335	335	325	292	291	260	238	216	195	173	152	152	152	152	152	141	141	141	141	141
1.25	303	303	292	271	238	206	184	152	130	119	108	100	103	106	108	108	114	114	119	119	119
1.50	271	271	260	227	179	152	141	119	108	93	80	76	76	80	84	87	89	91	93	93	95
1.75	249	238	227	195	152	124	106	91	78	67	61	52	54	58	63	67	69	71	73	74	74
2.00	227	216	195	152	117	95	80	67	61	52	45	40	41	45	49	52	54	56	57	58	58
2.50	195	190	146	110	74	58	48	40	35	30	27	24	26	28	30	33	35	38	40	41	41
3.00	160	155	115	67	43	33	26	21	18	17	16	16	17	17	18	21	22	24	26	27	27
3.50	146	131	87	41	25	18	15	13	12	11	11	11	11	11	12	14	15	17	18	21	21
4.00	132	113	67	27	15	12	10	9.4	8.7	8.2	7.9	7.6	7.9	8.7	9.6	11	121	13	15	17	17
4.50	118	95	50	20	12	8.9	7.4	6.6	6.3	6.1	5.7	5.6	5.8	6.3	7.1	8.4	10	12	13	14	14
5.00	106	81	38	14	8.2	6.3	5.4	5.0	4.8	4.7	4.5	4.4	4.8	5.2	6.2	7.4	8.5	9.5	10	11	11
5.50	96	69	29	11	6.3	5.1	4.4	4.1	3.9	3.8											
6.00	87	58	22	8.0	5.0	3.9	3.5	3.4	3.2												
6.50	78	50	17	6.1	3.8	3.1	2.8	2.7													
7.00	71	43	14	4.9	3.1	2.5	2.3	2.2													
7.50	67	38	12	4.1	2.6	2.1	1.9														
8.00	63	33	10	3.4	2.2	1.8	1.7														
8.50	58	28	8.7	2.9	1.9	1.6	1.5														
9.00	55	25	7.4	2.5	1.7	1.4															
9.50	52	23	6.5	2.2	1.5	1.3															
10.00	49	21	5.6	1.9	1.4	1.2															
10.50	47	18	5.0	1.7	1.3	1.2															
11.00	44	16	4.4	1.6	1.2	1.1															
12.00	41	13	3.6	1.4	1.1																



TABLA 27 c.- Tabla r para superficie estándar r3

		Qo= 0.07 S1= 1.11 S2= 2.38																				
$\beta$	Tan $\nu$	0°	2°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	60°	75°	90°	105	120	135	150	165	180	
0.00		294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294
0.25		326	326	321	321	317	312	308	308	303	298	294	280	271	262	158	253	249	244	240	240	240
0.50		344	344	339	339	326	317	308	298	289	276	262	235	217	204	199	199	199	199	194	194	194
0.75		357	353	353	339	321	303	285	267	244	222	204	176	158	149	149	149	145	136	136	140	140
1.00		362	362	352	326	276	249	226	204	181	158	140	118	104	100	100	100	100	100	100	100	100
1.25		357	357	248	298	244	208	176	154	136	118	104	83	73	70	71	74	77	77	77	78	78
1.50		353	348	326	267	217	176	145	117	100	86	78	72	60	57	58	60	60	60	61	62	62
1.75		359	335	303	231	172	127	104	89	79	70	62	51	45	44	45	46	45	45	46	47	47
2.00		326	321	280	190	136	100	82	71	62	54	48	39	34	34	34	35	36	36	37	38	38
2.50		289	280	222	127	86	65	54	44	38	34	25	23	22	23	24	24	24	24	24	25	25
3.00		253	235	163	85	53	38	31	25	23	20	18	15	15	14	15	15	16	16	17	17	17
3.50		217	194	122	60	35	25	22	19	16	15	13	9.9	9.0	9.0	9.9	11	11	12	12	13	13
4.00		190	163	90	43	26	20	16	14	12	9.9	9.0	7.4	7.0	7.1	7.5	8.3	8.7	9.0	9.0	9.9	9.9
4.50		163	136	73	31	20	15	12	9.9	9.0	8.3	7.7	5.4	4.8	4.9	5.4	6.1	7.0	7.7	8.3	8.5	8.5
5.00		145	109	60	24	16	12	9.0	8.2	7.7	6.8	6.1	4.3	3.2	3.3	3.7	4.3	5.2	6.5	6.9	7.1	7.1
5.50		127	94	47	18	14	9.9	7.7	6.9	6.1	5.7											
6.00		113	77	36	15	11	9.0	8.0	6.5	5.1												
6.50		104	68	30	11	8.3	6.4	5.1	4.3													
7.00		95	60	24	6.5	6.5	5.2	4.3	3.4													
7.50		87	53	21	7.1	5.3	4.4	3.6														
8.00		83	47	17	6.1	4.4	3.6	3.1														
8.50		78	42	15	5.2	3.7	3.1	2.6														
9.00		73	38	12	4.3	3.2	2.4															
9.50		69	34	9.9	3.8	3.5	2.2															
10.00		65	32	9.0	3.3	2.4	2.0															
10.50		62	29	8.0	3.0	2.1	1.9															
11.00		59	26	7.1	2.6	1.9	1.8															
11.50		56	24	6.3	2.4	1.8																
12.00		53	22	5.6	2.1	1.8																



**TABLA 27 d.- Tabla r para superficie estándar R4**

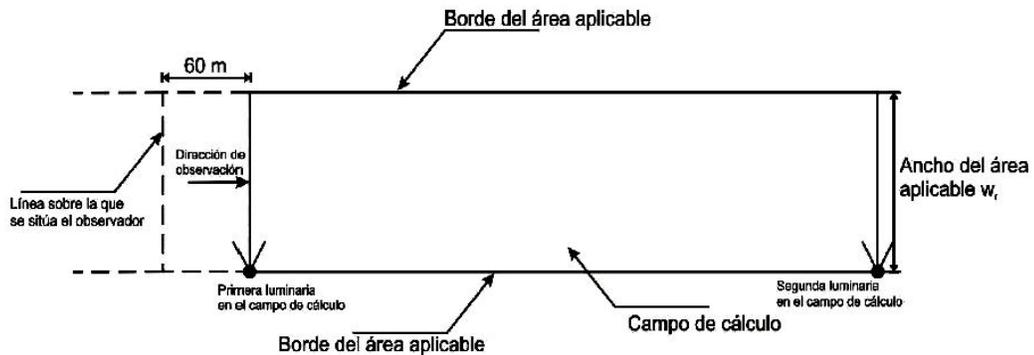
		Qo= 0.08 S1= 1.55 S2= 3.04																				
$\beta$	$Tan \gamma$	0°	2°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	60°	75°	90°	105	120	135	150	165	180	
0.00		264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264
0.25		297	317	317	317	317	310	304	290	284	277	271	244	231	224	224	218	218	211	211	211	211
0.50		330	343	343	343	330	310	297	284	277	264	251	218	198	185	178	172	172	165	165	165	165
0.75		376	383	370	350	330	304	277	251	231	211	198	165	139	132	132	125	125	125	119	119	119
1.00		396	396	396	330	290	251	218	198	185	165	145	112	86	86	86	86	86	87	87	87	87
1.25		403	409	370	310	251	211	278	152	132	115	103	77	66	65	65	63	65	66	67	68	68
1.50		409	396	356	284	218	172	139	115	100	88	79	61	50	50	50	50	52	55	55	55	55
1.75		409	396	343	351	178	139	108	88	75	66	59	44	37	37	37	38	40	41	42	45	45
2.00		409	383	317	224	145	106	86	71	59	53	45	33	29	29	29	30	32	33	34	37	37
2.50		396	356	364	152	100	73	55	45	37	32	28	21	20	20	20	21	22	24	25	26	26
3.00		370	304	211	95	63	44	30	25	21	17	16	13	12	12	13	13	15	16	17	19	19
3.50		343	271	165	63	40	26	19	15	13	12	11	9.8	9.1	8.8	8.8	9.4	11	12	13	15	15
4.00		317	238	132	45	24	16	13	11	9.6	9.0	8.4	7.5	7.4	7.4	7.5	7.9	8.6	9.4	11	12	12
4.50		297	211	106	33	17	11	9.2	7.9	7.3	6.6	6.3	6.1	6.1	6.2	6.5	6.7	7.1	7.7	8.7	9.6	9.6
5.00		277	185	79	24	13	8.3	7.0	6.3	5.7	5.1	5.0	5.0	5.1	5.4	5.5	5.8	6.1	6.3	6.9	7.7	7.7
5.50		257	161	59	19	9.9	7.1	5.7	5.0	4.6	4.2											
6.00		244	140	46	13	7.7	5.7	4.8	4.1	3.8												
6.50		231	122	37	11	5.9	5.6	3.7	3.2													
7.00		218	106	32	9.0	5.0	3.8	3.2	2.6													
7.50		205	94	26	7.5	4.4	3.3	2.8														
8.00		193	82	22	6.3	3.7	2.9	2.4														
8.50		194	74	19	5.3	3.2	2.5	2.1														
9.00		174	66	16	4.6	2.8	2.1															
9.50		169	59	13	4.1	2.5	2.0															
10.00		164	53	12	3.7	2.2	1.7															
10.50		158	49	11	3.3	2.1	1.7															
11.00		153	45	9.5	3.0	2.0	1.7															
11.50		149	41	8.4	2.6	1.7																
12.00		145	37	7.7	2.5	1.7																

#### 4.3.6 Cálculo de la luminancia promedio sobre la vía

4.3.6.1 El campo de cálculo debe ser típico del área de la vía que le interesa al usuario.

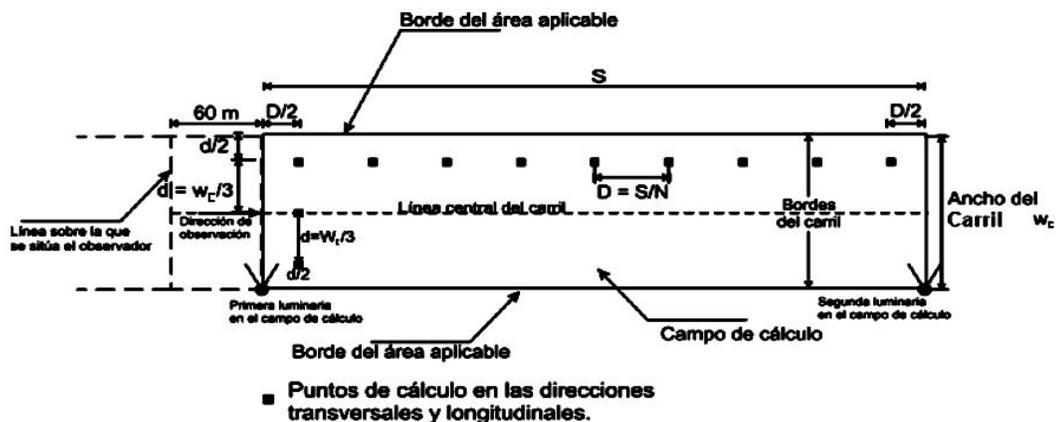
- En la dirección longitudinal de una vía recta, el campo de cálculo debe quedar entre dos luminarias de la misma fila. La primera luminaria debe estar situada a 60 m delante del observador.
- En la dirección transversal se debe considerar el ancho de la calzada en vías sin parterre central y el ancho de una calzada en vías con parterre central. Sin embargo, todo está limitado por la aplicabilidad de la tabla-r. Esta tabla está definida para un observador que ve la vía con un ángulo de observación de 1°, para una altura de ojo del observador de 1,5 m; esto da como resultado que el punto observado debe situarse a 86 m delante del observador.
- Se ha demostrado que la tabla-r se aplica por encima de un rango de ángulos de visión situados entre 0,5° y 1,5°, lo cual resulta en que dicha tabla es aplicable a puntos que quedan entre 57 y 172 m, aproximadamente (convencionalmente, se toma entre 60 y 160 m), delante del observador.

FIGURA 18. Campo de cálculo de la luminancia de la calzada



#### 4.3.6.2 Posición de los puntos de cálculo

FIGURA 19. Posición de los puntos de cálculo en un carril



- a) *En la dirección longitudinal.* El espaciado (D) en la dirección longitudinal se determina a partir de la ecuación  $D = S/N$ , en donde:

D = Es el espaciado entre puntos en la dirección longitudinal (m).

S = Es el espaciado entre luminarias en la misma fila (m).

N = Es el número de punto de cálculo en la dirección longitudinal, escogidos de manera que:

Para S menor o igual a 30 m,  $N = 10$ ;

Para S mayor de 30 m, N es el entero más pequeño para que se obtenga D menor o igual a 3 m.

La primera fila transversal de puntos de cálculo se espacia a una distancia  $d/2$  a partir de la primera luminaria (alejada del observador).

- b) *En la dirección transversal.* El espaciado (d) en la dirección transversal se determina a partir de la ecuación:

$$d = w_c/3$$

Donde:

$D$  = Es el espaciado entre puntos en la dirección transversal (m).

$w_c$  = Es el ancho de cada carril de circulación. Los puntos de cálculo más alejados se espacian  $d/2$  desde los bordes del carril.

#### 4.3.6.3 Posición del observador

- a) El ángulo de observación desde la horizontal se fija en  $1^\circ$ . En la dirección transversal el observador se sitúa en el centro de cada carril de circulación y longitudinalmente a 60 m a partir del primer punto.

La luminancia promedio ( $L_{prom}$ ) y la uniformidad global de la luminancia ( $U_o$ ), se calculan para la totalidad de la calzada, para cada posición del observador.

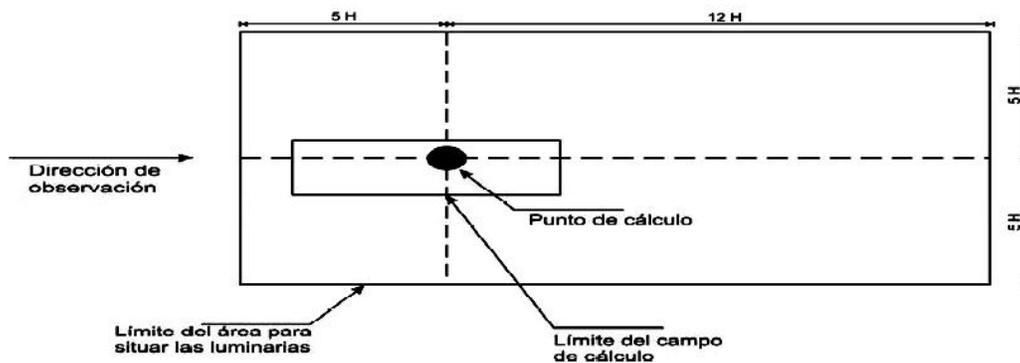
#### 4.3.6.4 La uniformidad longitudinal de la luminancia ( $U_L$ ).

- a) Se calcula para cada línea central de cada carril de circulación. Los valores de  $L_{prom}$ ,  $U_o$  y  $U_L$  son los más bajos en cada caso.
- b) Para los cálculos de la luminancia y para los cálculos de la iluminación de túneles, la dirección de observación estará en una línea paralela al sentido de marcha de la carretera. Esto significa que el observador tiene que alinearse con cada línea longitudinal de los puntos del cálculo. El resultado de estos cálculos debe etiquetarse como "observador móvil para los métodos de cálculo de la luminancia".

#### 4.3.6.5 Número de luminarias incluidas en el cálculo

- a) Para cada punto de cálculo, todas las luminarias que contribuyen significativamente a la luminancia deben incluirse en el cálculo. Estas luminarias quedan dentro del área del plano de la tabla-r, que se aproxima a un rectángulo de dimensiones de  $5H$  por  $17H$ , y por su simetría puede utilizarse para cubrir un área de  $10H$  por  $17H$  (ver la figura 20).
- b) Como consecuencia, solo es necesario considerar luminarias que se sitúen a una distancia comprendida dentro de 5 veces la altura de montaje desde el punto de cálculo hacia el observador, 12 veces la altura de montaje desde el punto de cálculo hacia fuera del observador, y cinco veces la altura de montaje desde el punto de cálculo a cada lado de dicho punto.

**FIGURA 20. Luminarias que pueden contribuir a la luminancia en el punto de cálculo**



**4.3.6.6 Cálculo de las características de calidad de la luminancia.** Las características de calidad relacionadas con la luminancia deben obtenerse a partir de las mallas calculadas de luminancia sin interpolación adicional.

- a) *Uniformidad general de luminancia en alumbrado público.* Los puntos de cálculo son los mismos que se usan para calcular la luminancia promedio sobre la calzada. Así, la uniformidad general de luminancia se calcula a partir de la fórmula  $U_0 = L_{\min} / L_{\text{prom}}$ , donde:

$L_{\min}$  = Corresponde al punto de menor luminancia entre todos los puntos calculados.

$L_{\text{prom}}$  = Corresponde a la luminancia promedio sobre la calzada.

- b) *Uniformidad longitudinal de luminancia.* Se calcula como el cociente entre la luminancia más baja y la más alta  $U_L = L_{\min} / L_{\max}$  en la dirección longitudinal a lo largo de la línea central de cada carril de circulación, incluyendo el borde de carretera en el caso de autopistas. El número de puntos en la dirección longitudinal y el espaciado entre ellos deben ser los mismos que los utilizados para el cálculo de la luminancia promedio.

El observador debe estar a 60 m del primer punto y debe estar alineado con la fila de puntos.

#### 4.3.6.7 Cálculo de deslumbramiento

- a) *Luminancia de velo o deslumbramiento incapacitivo.* La luminancia de velo  $L_V$  corresponde a una de las medidas del deslumbramiento incapacitivo o inhabilitador. Su cálculo se basa en los estudios de Holladay y en las confirmaciones realizadas, para pequeños niveles de luminancia, por Adrián en 1961, Fisher en 1967 y Hartmann en 1963 y 1968.

La luminancia de velo, de acuerdo con la CIE, puede calcularse mediante la siguiente fórmula empírica:

$$L = K \sum_{i=1}^{i=n} \left( \frac{E_{g_i}}{\theta_i^2} \right) \quad \text{en Cd/m}^2$$

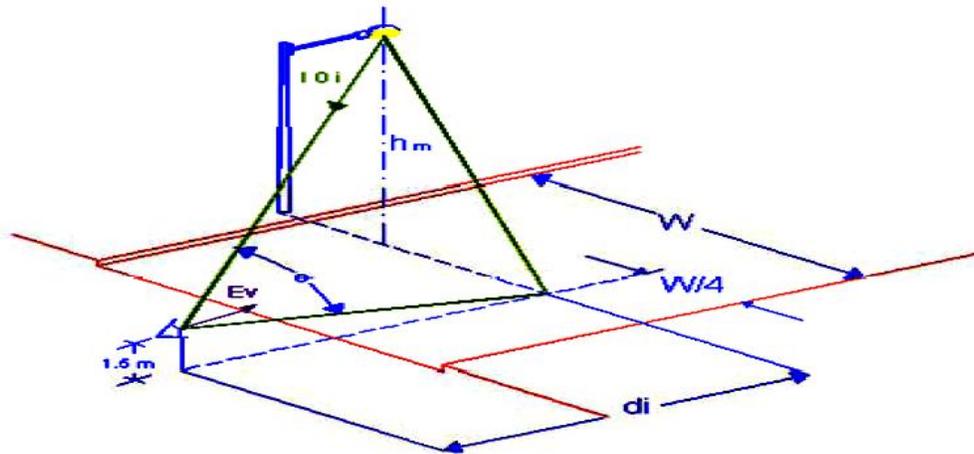
Donde:

$K$  = Factor que depende de la edad del observador (se asume un observador de 30 años).  $K=10$  si el ángulo  $\theta$  está en grados y  $K= 10^{-3}$  si el ángulo  $\theta$  está en radianes.

$E_{g_i}$  = Componente de iluminancia (es decir, en un plano perpendicular a la línea de visión del ojo) que proviene de la fuente  $i$ -ésima lumínica generadora de deslumbramiento. También puede entenderse como la iluminancia en el ojo del observador producida por la fuente deslumbrante en el plano perpendicular a la línea de visión, expresada en luxes). El subíndice  $i$  varía entre 1 y  $n$ .

$\theta$  = Ángulo (en grados) formado por una línea entre la fuente luminosa y el observador y la línea entre el observador y un punto de visión.

FIGURA 21. Cálculo de luminancia de velo



b) *Restricciones y alcance en la aplicación de las fórmulas anteriores.* El ángulo  $\theta$ , está comprendido entre  $1,5^\circ$  y  $60^\circ$  (en la práctica se limita a  $20^\circ$ ).

- El observador está mirando a un punto de la vía a 90 m delante de él y colocado a la misma distancia que él, del lado de la carretera, de la primera luminaria que se incluye en el cálculo.
- El punto de visión del observador se encuentra a  $\frac{1}{4}$  del ancho de la calzada (de derecha a izquierda) justo al frente de la primera luminaria y el ángulo de visión comprende hasta  $20^\circ$  por encima de la visual, debido a la forma del vehículo.
- Se involucran el cálculo 12 luminarias (o 24 para disposición bilateral) sin embargo, solo las cuatro primeras tienen un aporte significativo.
- Las luminarias deben estar colocadas de modo que su reparto sea longitudinal al eje de la vía.

De acuerdo con la IESNA, la luminancia de velo se calcula con una fórmula parecida a la de CIE, que igualmente es empírica. Se calcula la contribución de cada luminaria y se suman para obtener el valor final de la luminancia de velo. La fórmula es:

$$L_v = \sum_{i=1}^n \frac{10E_{vi}}{\theta^2 + 1,5\theta}$$

Donde:

$L_v$  = Luminancia de velo.

$E_v$  = Iluminancia vertical en el plano de la pupila del observador, en luxes.

$\varphi$  = Ángulo entre la línea de circulación y la luminaria, en grados. La línea de circulación es una línea paralela a la vía localizada a  $\frac{1}{4}$  del ancho de la vía a la altura del ojo del observador, a 1,45 m.

$n$  = Número de luminarias del proyecto que se ven directamente desde el punto de evaluación de la luminancia de velo, el cual debe ser el mismo punto y las mismas luminarias utilizadas para evaluar la luminancia de la calzada.

- c) *Deslumbramiento de incomodidad.* Hasta el presente no se ha desarrollado ningún método satisfactorio para cuantificar este tipo de deslumbramiento en vías. Anteriormente se utilizó el índice G o marca de control del deslumbramiento, de acuerdo con la publicación CIE 31 (TC-4.6) 1976, pero se presentaron anomalías o incertidumbres en su aplicación. Las evidencias en el campo sugieren que las instalaciones diseñadas de acuerdo con las especificaciones del TI según la publicación CIE 115 2010 son adecuadas respecto al deslumbramiento de incomodidad.

Entornos brillantes, tales como edificios iluminados tienden a mitigar el deslumbramiento de incomodidad, pero como la iluminación de edificios es variable y puede ser apagada durante la noche, no es recomendable incluirla en el diseño de la iluminación de vías.

- d) *Incremento del umbral (TI) en una instalación de alumbrado público.* Es una medida de la pérdida de visibilidad causada por un deslumbramiento engeuecedor originado por la luminaria. Por tanto, es una medida del deslumbramiento fisiológico. La fórmula para calcular este valor se basa en calcular porcentualmente la diferencia de luminancia necesaria para volver a ver el objeto en presencia de un nivel de deslumbramiento dado, respecto a la diferencia de luminancia necesaria para ver el objeto pero en ausencia del deslumbramiento.

El incremento de umbral TI se calcula para el estado inicial de la instalación, es decir, con la luminaria nueva y con el flujo inicial de la lámpara, mediante la siguiente fórmula:

$$TI = \frac{K * E_g}{(L_{prom})^{0,8} * \theta^2} \quad (\%)$$

De acuerdo con la anterior ecuación, la pérdida de visibilidad causada por un deslumbramiento engeuecedor ocasionado por la luminaria, se puede disminuir aumentando la altura de montaje de la luminaria (esto equivale a aumentar el ángulo  $\theta$ ) o aumentando la luminancia promedio ( $L_{prom}$ ).

K es una constante que varía con la edad del observador.

Generalmente se considera un observador de 23 años de edad, en cuyo caso K es igual a 650 porque:

$$L_v = 10 * E_g / \theta^2 \text{ y } TI = 65 L_v / (L_{prom})^{0,8}$$

$$TI = 650 E_g / \theta^2 * (L_{prom})^{0,8}$$

Para edades del observador diferente a 23 años, el valor de la constante K se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$K = 641 \left[ 1 + \left( \frac{A}{66,4} \right)^4 \right]$$

Donde:

A = Edad del observador en años.

$E_g$  = Es la iluminancia total inicial producidas por las luminarias, en su estado nuevo, sobre un plano normal a la línea de visión y a la altura del ojo del observador.

El observador está ubicado a una altura de 1,50 m sobre el nivel de la calzada y con relación a ésta colocado de la siguiente manera:

Transversalmente a  $1/4$  de ancho total de la calzada y longitudinalmente a una distancia  $2,75(H-1,5)$ , medida desde el frente de la luminaria. Donde  $H$  es la altura libre de montaje de la luminaria, en metros.

(Se asume que el ángulo de apantallamiento del techo del vehículo es de  $20^\circ$ )

$L_{prom}$  = Es la luminancia media inicial de la superficie de la calzada.

$\theta$  = Es el ángulo en grados entre línea de visión y el centro de cada luminaria.

El cálculo de TI se inicia con el observador situado en la posición inicial, definida anteriormente, y luego se repite moviendo el observador hacia delante con incrementos que son los mismos en número y distancia que los utilizados para el cálculo de la luminancias promedio de la calzada.

El TI de la calzada es el correspondiente al valor máximo encontrado en los cálculos.

Esta ecuación es válida para  $0,05 < L_{prom} < 5 \text{ cd/m}^2$  y  $1,5^\circ < \theta < 60^\circ$ .

$E_g$  se añade para la primera luminaria en la dirección de observación y luminarias más alejadas, hasta una distancia de 500 m.

#### **4.4 Mediciones fotométricas de alumbrado público**

**4.4.1** Una vez construido el proyecto de alumbrado público y después de 100 horas de funcionamiento de las lámparas nuevas, se debe verificar el diseño de proyecto de alumbrado público mediante la medición de iluminancia y su comparación con los valores ofrecidos en el diseño fotométrico del proyecto.

**4.4.2** La medición de luminancia se debe hacer para confrontar los datos teóricos obtenidos con la clase de superficie de calzada normalizada adoptada en el diseño fotométrico. Los valores reales medidos para las vías permitirán crear una base de datos, donde con el tiempo se puedan hacer ajustes a las matrices normalizadas del factor  $R$  que se aproximen de mejor forma a las superficie de las calzadas de las vías existentes en el país. Para lo cual se debe seleccionar un vano adecuado de medición.

**4.4.3** Cuando el vano seleccionado es factible de ser medido, los requisitos que debe reunir el vano a medir, la forma del marcado de la malla o grilla, la ejecución de las mediciones y el cálculo de los parámetros de calidad se definen a partir de los datos obtenidos en las mediciones. El procedimiento incluye la evaluación de los casos especiales y de las vías peatonales, en ellas determina la forma de marcación del vano y los parámetros de calidad a ser evaluados.

**4.4.4** Cuando la medición no sea técnicamente apropiada o involucre mucho riesgo, la evaluación se define a partir de cálculos de cada uno de los parámetros de calidad por medios informáticos y de la verificación en campo de la operatividad de las unidades de alumbrado en el vano y de la configuración de la instalación.

##### **4.4.5 Evaluación del vano seleccionado para la medición**

**4.4.5.1** Los vanos a ser medidos deben cumplir los siguientes requisitos:

1. No debe presentar obstáculos que obstruyan la distribución luminosa de las luminarias (árboles, automóviles estacionados, etc.).
2. El recubrimiento de las calzadas no debe presentar ondulaciones (presencia de baches pronunciados) que impidan la visualización de los puntos de medición o la horizontalidad del medidor de iluminancia.
3. No estar ubicados en las zonas calificadas como altamente peligrosas desde el punto de vista delincriminal.

4. *Estado de la calzada.* Debe estar seca para la medición.
5. Estar libres de influencia de iluminación diferente al sistema a evaluar (vehicular o comercial).

#### **4.4.6** *Procedimiento de medición*

**4.4.6.1** Todas las fuentes de luz que pertenezcan a la instalación de alumbrado que se va a medir deben ser visibles y estar encendidas, mientras que aquellas fuentes que no lo sean deben estar apagadas.

Para estar seguros de la confiabilidad de las mediciones se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Todos los instrumentos de medición deben estar calibrados.
- Se debe tener en cuenta los parámetros de diseño de la instalación y la correcta geometría de la misma: altura de montaje, avance, ángulo de inclinación de la luminaria, interdistancia, ancho de la vía, posición de la lámpara.
- Por medio de inspección visual se debe verificar que los accesorios eléctricos y la lámpara sean los adecuados para la luminaria.
- Verificar el voltaje de alimentación en los bornes de la luminaria.
- Las luminarias deben estar en régimen normal de funcionamiento.
- Las lámparas deben estar nuevas con un envejecimiento mínimo de 100 horas.
- El conjunto óptico de la luminaria debe estar limpio.
- En lo posible, se debe eliminar el efecto de las fuentes luminosas ajenas al sistema analizado que puedan causar errores en la medición, tales como avisos luminosos, faros de automóviles, etc.
- Evitar las mediciones cuando el piso esté mojado, porque pueden presentarse reflexiones que introducen errores.
- El personal que interviene en las mediciones no debe producir sombras en el campo de medición ni bloquear la luz hacia el aparato de medición.

#### **4.4.7** *Marcación de la vía*

**4.4.7.1** La marcación de los puntos de medición en los tramos o vanos seleccionados dependerá del tipo de calzada para lograr una buena visualización durante las mediciones.

*Calzadas claras y oscuras.* El marcado de los puntos a medir en este tipo de calzada, se sugiere que se realice con tiza blanca.

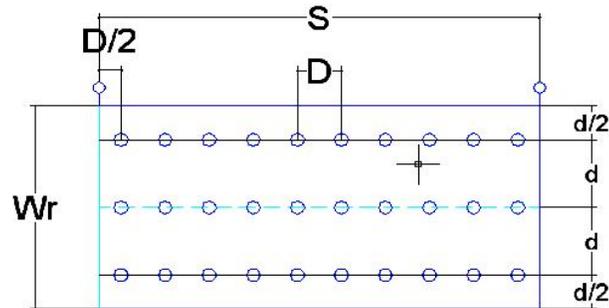
*Calzadas de adoquín.* El marcado de los puntos a medir en este tipo de calzada se sugiere que se realice con tiza blanca.

**4.4.7.2** La marcación de los puntos generalmente se hace sobre tramos rectos de vía; aunque pueden existir casos especiales en la marcación de los puntos para las mediciones de: intersecciones, rampas, pendientes, secciones de intercambio, plazas, cruces y puentes peatonales, óvalos, glorietas, y vías curvas. En estos casos, la marcación de los puntos para medición de la iluminancia, debe estar de acuerdo con los puntos utilizados en el diseño fotométrico.

#### **4.4.8** *Malla de medición*

- a) *Medición de iluminancia.* Para las vías con clase de iluminación Tipo M1 y M2 se debe utilizar el sistema recomendado en las normas CIE 140- 2000 o el indicado en el presente reglamento, que consiste en tomar los siguientes puntos de acuerdo con la figura 22.

**FIGURA 22. Malla de medición para iluminancia y luminancia**



Los puntos de cálculo se deben espaciar uniformemente en el campo de cálculo, y la cantidad debe seleccionarse de la siguiente manera. En dirección longitudinal el espaciado se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$D = S / N$$

Donde:

D es el espaciado entre los puntos en la dirección longitudinal (m)

S es el espaciado entre luminarias (m.)

N es el número de puntos de cálculo en dirección longitudinal, con los siguientes valores:

Para  $S \leq 30$  m  $N = 10$

Para  $S \geq 30$  m el entero más pequeño que resulte de la relación  $N = S/3$

Debe tenerse en cuenta que la primera fila de puntos se localiza a una distancia igual a  $D/2$  más allá de la primera luminaria.

En dirección transversal se toman tres puntos considerando el ancho total de la calzada,

$$d = Wr / 3.$$

Donde:

d es el espaciado entre los puntos en la dirección transversal (m)

Wr es el ancho de la calzada del área aplicable (m).

- b) *Medición de la luminancia.* De acuerdo con las normas CIE 140-2000, los puntos de medición se deben espaciar uniformemente en el campo de medición y situarse como se indica en la figura 21.

En dirección longitudinal el espaciado entre los puntos de medición D se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$D = S / N$$

Donde:

D Espaciado entre puntos en la dirección longitudinal (m)

S Interdistancia entre luminarias en la misma fila (m)

N Número de puntos de cálculo en la dirección longitudinal, con los siguientes valores.

Para S menor o igual a 30 metros N debe ser igual a 10 y, para S mayor a 30 metros, N debe ser el entero más pequeño de tal manera que D sea menor o igual a 3 m.

La primera fila transversal de puntos de cálculo se localiza a una distancia  $d/2$  más allá de la primera fila de luminarias (alejada del observador).

En dirección transversal se toman tres puntos por cada carril de circulación, el espaciado entre puntos está dado por la fórmula:

$$d = WI / 3$$

Donde:

D = Es el espaciado entre puntos en dirección transversal (m), y.

WI= Es el ancho del carril de circulación (m).

Los puntos de cálculo más alejados se espacian  $d/2$  a partir de cada borde del carril correspondiente.

- c) *Posición del observador.* En sentido longitudinal el observador se coloca a 60 metros frente a la primera línea de puntos. En sentido transversal el observador se desplaza transversalmente y se coloca frente al centro de cada carril de circulación.

#### 4.4.9 Mediciones que deben aplicarse según el tipo de vía

4.4.9.1 Las mediciones a aplicarse por cada tipo de vía se pueden apreciar en la tabla 28

**TABLA 28. Mediciones por tipos de vías**

VÍAS	MEDICIONES
Rectas	Iluminancias $E_{prom}$ , $U_o$ , ó, Luminancias $L_{prom}$ , $U_o$ , $U_L$ cuando los tramos ininterrumpidos son mayores o iguales a 100 m
Aceras en vías rectas	Iluminancia
Curvas con radios menores a 200 m	Iluminancia y relación SR
Curvas con radios mayores a 200 m	Iluminancia
Aceras en vías	Iluminancia
Intersecciones	Iluminancia
Cruces peatonales	Iluminancia
Pendientes mayores al 6%	Iluminancia
Pendientes menores al 6%	Iluminancias $E_{prom}$ , $U_o$ ó Luminancias $L_{prom}$ , $U_o$ , $U_L$ cuando los tramos ininterrumpidos son mayores o iguales a 100 m
Aceras en pendientes	Iluminancia
Rampas	Iluminancia
Plazas-óvalos	Iluminancia

NOTA. En el caso que no pueda ser posible realizar la medición de las luminancias porque la vía no tiene el largo necesario para la ubicación del observador (60 m), se medirá iluminancia. Para el caso de medición de luminancias el vano o tramo a evaluar debe tener como mínimo tres vanos antes y tres vanos después del área a evaluar.

#### 4.4.10 Evaluación de luminancia

- a) *Área de evaluación.* El área de evaluación de las mediciones será el tramo o vano seleccionado de la vía, teniendo en cuenta lo especificado en el presente reglamento técnico.
- b) *Ubicación del sensor.* El luminancímetro será colocado en un trípode a una altura de un metro y cincuenta centímetros (1,50 m) con respecto del punto medio del lente visor hasta el suelo o calzada.

c) *Ubicación del punto de observación.* En la ubicación del punto del observador se deben tener en cuenta lo siguiente:

1. *Luminancia promedio y uniformidad general.* En dirección transversal, el observador se coloca en el centro de cada carril de circulación y longitudinalmente a 60 metros a partir de la primera columna de puntos. La luminancia promedio y la uniformidad general se calculan para la totalidad de la calzada, para cada posición del observador. Las cifras reales del sistema de iluminación medido, corresponden a los valores más bajos medidos en las diferentes posiciones transversales del observador.

2. *Uniformidad longitudinal de la vía.* El punto de observación será ubicado en el eje del carril a evaluar y a una distancia de sesenta metros (60 m) de la primera línea de puntos marcados en el tramo o vano a medir. Se efectuarán mediciones en el eje de cada carril.

d) *Forma de señalización de los puntos.* Para señalar y marcar los puntos se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Deben ser marcados de tal forma que no haya luces que distorsionen la medición.

2. La persona encargada de marcar cada uno de los puntos, así como la persona encargada de realizar las lecturas en el luminancímetro deben contar con radios de comunicación para estar en continuo contacto durante las mediciones.

3. La persona que realiza la medición debe estar acompañada de una persona que haga las anotaciones de las mediciones obtenidas en el campo.

4. La persona encargada del marcado de cada uno de los puntos durante la medición deberá señalar el punto a medir.

5. Una vez enfocado este punto por la persona que realiza la medición le indicará que apague la linterna, se retire del punto a medir y proceda a realizar la lectura del punto en el luminancímetro.

6. El asistente anotará el resultado de la lectura dado por la persona que realiza la medición en el luminancímetro.

e) *Cuidados en la medición*

1. Antes de empezar a realizar las mediciones la persona encargada de realizar las lecturas en el luminancímetro, debe calibrar este medio de medición de acuerdo con su manual de funcionamiento. Igualmente, debe verificar el estado de la luminaria, el voltaje de red, inclinación de la luminaria y el brazo, fijación de la luminaria al brazo, posición de la lámpara y avance de la luminaria sobre la calzada.

2. Durante la medición la persona encargada de marcar el punto debe retirarse lo necesario para no crear sombra alguna sobre el punto a medir, ya que esto distorsionaría la lectura obtenida en el luminancímetro.

3. Durante la medición la persona encargada de manejar el luminancímetro debe focalizar el punto lo más exactamente posible para minimizar los errores en las lecturas.

#### **4.4.11 Evaluación de la iluminancia**

**4.4.11.1** Una vez obtenidos los valores de los niveles de luminancia, se procede a calcular la iluminancia promedio  $E_{prom}$  y el coeficiente de uniformidad general  $U_0$  de acuerdo con la metodología presentada en el presente reglamento:

a) *Área de evaluación.* El área de evaluación de las mediciones será el tramo o vano seleccionado de la vía, teniendo en cuenta lo especificado en esta guía.

- b) *Ubicación del sensor.* El sensor o foto celda del fotómetro o luxómetro será colocado a una altura máxima de quince centímetros (0,15 m) en posición horizontal.
- c) *Ubicación del punto a medir.* El dispositivo con el sensor es colocado por el operario sobre el punto inicial marcado sobre el vano o tramo a medir. La persona encargada de realizar la medición registrará la lectura obtenida en el luxómetro. Cada punto marcado en el vano será medido de igual forma.
- d) *Cuidados en la medición.* Antes de iniciarse la medición la persona encargada, debe calibrar el luxómetro de acuerdo con su manual de funcionamiento y verificar que esté funcionando correctamente. Igualmente, debe verificar el estado de la luminaria, el voltaje de red, inclinación de la luminaria y el brazo, fijación de la luminaria al brazo, posición de la lámpara y avance de la luminaria sobre el área considerada.

La persona encargada de colocar el dispositivo con el sensor sobre el punto a medir, debe asegurarse de retirarse a una distancia prudencial para no crear sombras sobre el sensor y obstruir la distribución luminosa. La persona encargada de la medición antes de realizar la lectura, debe esperar que ésta se estabilice en el display del luxómetro.

#### **4.4.12 Selección de los medios de medición**

**4.4.12.1** Los equipos de medición descritos deben estar debidamente calibrados por laboratorios acreditados:

- a) *Medidores fotométricos de luminancia.* Los siguientes requisitos se adoptan de la norma CIE 140 2000:
  - 1. Repetitividad de las mediciones en cualquier punto de la escala utilizada.
  - 2. Las medidas deben ser realizadas con un luminancímetro, con un ángulo de medición no mayor de 2 minutos vertical y entre 2 y 20 minutos horizontalmente.
  - 3. El instrumento deberá ser sensible a mediciones de luminancia de cerca de  $0,1 \text{ cd/m}^2$  con un error no mayor de  $\pm 2\%$ .
- b) *Medidores fotométricos de iluminancia.* Los siguientes requisitos deben cumplir los medidores fotométricos:
  - 1. Repetitividad de las mediciones en cualquier punto de la escala utilizada.
  - 2. Deben tener una alta sensibilidad.
  - 3. El error de medición del equipo no debe ser mayor al 5,0%.
  - 4. Deben tener una corrección efectiva del coseno hasta un ángulo de  $85^\circ$ .
  - 5. Deben tener corrección de color según la curva de eficiencia espectral de la CIE  $V(\lambda)$ .
  - 6. El coeficiente de sensibilidad con la temperatura debe ser despreciable dentro del rango normal de temperaturas.
  - 7. Debe tener una suspensión que permita ajustar automáticamente la horizontalidad.
  - 8. Debe ser capaz de medir niveles de iluminancia horizontal o ubicarse en otros planos de medición requeridos.
  - 9. El fotómetro debe ser ubicado tal que el observador no produzca sombras, cubierto de la luz extraña que no serán medidas. (Utilización de un cable de extensión).

#### **4.4.13** *Competencia de personal responsable de las mediciones*

**4.4.13.1** El personal que tiene a su cargo la toma de mediciones debe estar capacitado en este tipo de actividades y debe evitar que las medidas se alteren por:

- a) *Luces o sombras introducidas por el operador.* Debe evitarse introducir luz adicional por reflexión sobre ropa blanca o colores fosforescentes. Igualmente, debe evitar producir sombras o bloquear la luz que llega al instrumento receptor de luz.
- b) Introducción de errores de medición por deficiencias en la calibración de los medios de medición a usar al momento de la medición.
- c) Introducción de errores por deficiencias en las lecturas. Como variación de las alturas de medición, posición inadecuada del sensor y señalización incorrecta de los puntos de medición.
- d) El personal seleccionado para efectuar las mediciones no debe introducir errores por repetitividad y reproducibilidad mayor al 1% (ver notas 9 y 10).

#### **4.4.14** *Informe de la medición*

**4.4.14.1** En el informe se deben incluir los siguientes datos:

- Localización del sitio de la medición.
- Fecha y hora de la medición.
- Descripción detallada del sistema de iluminación en el que se incluye. tipo de luminaria, altura del montaje, interdistancia entre postes, avance, inclinación de la luminaria, disposición y condiciones de los alrededores.
- Gráfico de la vía en planta y corte con las características de la instalación.
- Condiciones eléctricas de operación.
- Condiciones de operación de las luminarias
- Condiciones atmosféricas.
- Tabla de datos medidos en el sitio.
- Condiciones lumínicas de los alrededores.
- Descripción de los instrumentos utilizados.
- Nombre de los participantes en la medición.

#### **4.4.15** *Casos en los cuales no es factible la medición*

**4.4.15.1** Cuando la configuración de la vía no reúne los requisitos dispuestos en el presente reglamento, la evaluación de la vía se efectuará revisando los cálculos por medios informáticos que muestren los parámetros de calidad de la vía y se verificará en campo.

- a) *Forma de realizar los cálculos.* Los cálculos deben ser realizados de la siguiente forma:
  1. Considerar no menos de 3 vanos a cada lado del evaluado, dichos vanos deben indicar los espaciamientos reales encontrados en el campo.
  2. La configuración real de la vía (alturas de montaje, avance del andén, ancho de calzada, bermas, etc.).

NOTA 9. Se entiende por errores de repetitividad la diferencia que existe entre lecturas efectuadas por un mismo operador, en un mismo vano en tiempos muy cercanos utilizando el mismo medio de medición.

NOTA 10. Los errores por reproducibilidad son las diferencias introducidas por diferentes operadores en un mismo vano en tiempos muy cercanos utilizando el mismo instrumento.

3. Factor de mantenimiento real de la instalación.
  4. Para casos en los que exista hasta dos puntos de luz, se aceptará.
- b) *Verificación en campo*. En el campo se verificará:
1. La operatividad de las luminarias en el vano seleccionado.
  2. Las características de la instalación y su correspondencia con las especificadas en los cálculos (el tipo de luminaria, separación entre postes, altura de montaje, altura del parterre)
  3. El estado de mantenimiento de la instalación.

#### 4.4.16 Cálculos fotométricos utilizando los datos de las mediciones

- a) *Luminancia promedio* ( $L_{prom}$ ). Es el promedio aritmético de todos los valores de luminancia medidos en un tramo o vano.

$$L_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} L_i}{n}$$

Donde:

L = Luminancia en un punto de medición

N = Número de puntos de medición

- b) *Uniformidad general* ( $U_0$ ). Es el cociente entre la luminancia mínima del tramo de evaluación y la luminancia promedio de los valores obtenidos en los puntos ubicados en la superficie a evaluar.

$$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{prom}}$$

Donde:

$L_{min}$  = Luminancia mínima en el tramo medido

$L_{prom}$  = Luminancia promedio del vano

- c) *Uniformidad longitudinal* ( $U_L$ ). Es el cociente entre la luminancia mínima y la luminancia máxima de los valores obtenidos en los puntos ubicados en el eje del carril. La  $U_L$  de la calzada será la menor de las uniformidades longitudinales calculadas.

$$U_L \leq U_{L_i} \quad \text{y} \quad U_{L_i} = \frac{L_{mini}}{L_{maxi}}$$

$U_L$  = Uniformidad longitudinal de la calzada  
 $U_{Li}$  = Uniformidad longitudinal del i-ésimo carril  
 $L_{mini}$  = Luminancia mínima del i-ésimo carril  
 $L_{maxi}$  = Luminancia máxima del i-ésimo carril

d) *iluminancia promedio (E<sub>prom</sub>)*. Es el promedio aritmético de todos los valores medidos en un tramo o vano (ver nota 11).

$$E_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_i}{n}$$

$E_i$  = Iluminancia en un punto de medición

$n$  = Número de puntos de medición

e) *Relación de alrededores (SR)*. Es el cociente entre la iluminancia promedio en los andenes ( $E_{Vi}$ ) y la iluminancia promedio de la mitad del carril adyacente ( $E_{Ci}$ ).

f) *Incremento umbral (TI)*. El incremento umbral se obtiene a través de cálculos por computador, de acuerdo con los términos indicados en el numeral correspondiente a “Cálculo del incremento del umbral (TI) en una instalación de alumbrado público”.

**4.5 Redes eléctricas de alimentación del sistema de alumbrado público.** En un proyecto de alumbrado público, después de realizado el análisis fotométrico y alcanzadas las mejores opciones de iluminación, se procede con el diseño de la red o instalación eléctrica que servirá para energizar el sistema de alumbrado.

#### 4.5.1 Requisitos generales de las redes de alumbrado público

- Las instalaciones eléctricas de los circuitos de alumbrado público deben cumplir con las disposiciones de seguridad contempladas en las regulaciones emitidas por el ente regulador y sus materiales y equipos deben cumplir con los requisitos establecidos en las NTE INEN correspondientes o normas internacionales de reconocido prestigio.
- Los circuitos de bajo voltaje alimentados desde transformadores exclusivos de alumbrado público deben tener un voltaje que no facilite la conexión de servicios domiciliarios. Para sistemas de redes trifásicas de medio voltaje, los circuitos de bajo voltaje deben ser trifásicos tetrafilares, con un voltaje fase – fase de 220 o 208 V. Las luminarias se conectarán entre fases a 220 o 208 V o de acuerdo a los niveles de voltaje que disponga cada distribuidora.
- Para sistemas de redes monofásicas deben tener salida secundaria del tipo monofásicos trifilar 240/120 V y las luminarias se conectarán entre fases a 240 V o de acuerdo a los niveles de voltaje que disponga cada distribuidora.
- El neutro debe estar sólidamente aterrizado.
- La regulación de bajo voltaje que debe garantizar el operador de red, debe estar de acuerdo a la regulación correspondiente emitida por el ente regulador.

#### 4.5.2 Topología de la red eléctrica.

**4.5.2.1** Los circuitos de bajo voltaje dedicados exclusivamente al alumbrado público, como en avenidas, parques y grandes áreas, deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) Los transformadores alimentados de redes trifásicas deben tener salida secundaria del tipo trifásico tetrafilar de 220/127 – 208/120 V o de acuerdo a los niveles de voltaje que disponga cada distribuidora.

NOTA 11. La iluminancia promedio en la calzada se calcula con todos los valores medidos sobre ésta, de forma análoga se calcula la iluminancia sobre los andenes.

- b) Los sistemas de redes primarias monofásicas deben tener salida secundaria del tipo monofásicas trifilar 240/120 V o de acuerdo a los niveles de voltaje que disponga cada distribuidora.
- c) Deben ser potencias estandarizadas de transformadores que faciliten su adquisición.
- d) Los circuitos dedicados al alumbrado público deben llevar asociado un equipo de medida, que permita registrar la energía consumida en el alumbrado público.
- e) En sectores residenciales y pequeños comercios, la red eléctrica de distribución en bajo voltaje podrá ser compartida con las instalaciones de alumbrado público y el voltaje de alimentación será el voltaje fase nominal de la red.
- f) En los circuitos de iluminación compartidos con redes de uso general, se puede usar el voltaje propio de la red 208/120 ó 220/127 V trifásico o monofásico 240/120 V o de acuerdo a los niveles de voltaje que disponga cada distribuidora.
- g) En estos casos los operadores de red deben considerar, en sus normas de construcción, condiciones especiales de las estructuras de soporte de la red como: la separación, características mecánicas para soporte de cables, brazos, luminarias, herrajes y distancias de seguridad.

En las interdistancias (vanos de los cables de las redes eléctricas) se debe dar cumplimiento a los parámetros de iluminación de la vía, con los niveles de iluminancia mínimos promedio mantenidos y coeficientes de uniformidad exigidos en el presente reglamento.

- h) Los operadores de red en sus normas de construcción de redes en vías deben contemplar la localización de estructuras con base en estudios fotométricos, usando la información de luminarias certificadas con lámparas de las potencias usualmente utilizadas y eficacias lumínicas no menores a las establecidas en el presente reglamento. La separación de estructuras seleccionada debe ser la de la alternativa más económica en la vida útil del proyecto, teniendo en cuenta los criterios definidos en el presente reglamento. La ubicación definitiva de la estructura no debe estar por fuera de la interdistancia óptima en más o menos el 15%.
- i) Las autoridades competentes deben exigir el cumplimiento de esta normatividad de separación máxima de los postes en la construcción de las nuevas redes eléctricas de uso general, y podrán exigir la modificación de las mismas en el caso de incumplimiento.

#### **4.5.3 Iluminación de túneles**

**4.5.3.1** El diseño de alumbrado de túneles debe cumplir con los requerimientos de iluminación para una percepción segura, oportuna y una seguridad en los niveles de movilidad de los conductores. Para la iluminación de túneles se debe aplicar una norma como la CIE 88.2004 u otra equivalente.

**4.5.3.2** El objetivo de la iluminación de túneles es suministrar una apropiada visibilidad a los conductores, tanto en el día como en la noche. Los factores que contribuyen a disminuir la visibilidad deben ser determinados para cada túnel.

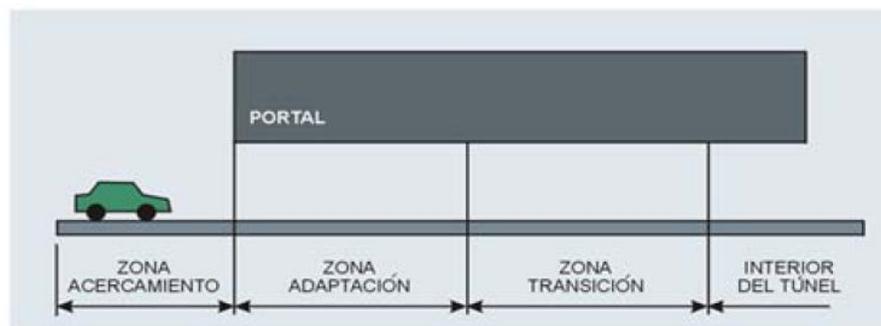
Los factores comprenden:

- Características de la vía de acceso y sus proximidades.
- Características de la vía en el túnel, paredes y techos.

- Características del portal del túnel.
- Condiciones ambientales y atmosféricas.
- Características del tráfico vehicular.
- Orientación del túnel con respecto al sol.

En la figura 23 se muestran las zonas que se deben tener en cuenta en el diseño de iluminación de túneles.

**FIGURA 23. Zonas lumínicas de un túnel**



**Zona de acercamiento.** Corresponde a la parte de la vía externa al túnel.

**Portal.** Corresponde al plano de entrada al túnel.

**Zona de adaptación.** Es la primera parte del túnel, durante el día se requiere suministrar un alto nivel de alumbrado.

**Zona de transición.** Área donde se hace la transición del alto nivel de alumbrado requerido en el umbral, al bajo nivel de la zona interior.

**Zona interior.** Es la parte más interna del túnel que requiere el suministro de un bajo nivel de alumbrado.

**Zona de salida.** La zona de salida es la parte del túnel en la que la visión del conductor que se aproxima a la salida, está influida predominantemente por la elevada luminancia exterior del túnel. La situación con vistas a la visibilidad y confort no es, durante el día, muy crítica porque los objetos en la zona de salida se mantienen claramente en silueta contra la salida brillante (ver nota 12).

#### 4.5.4 Parámetros de diseño para iluminación de túneles

**4.5.4.1** El diseño, cálculo e instalación de alumbrado de túneles se realizará de forma tal que se eviten los efectos de agujero negro, adaptación, cebrá y parpadeo o efecto flicker, considerando los siguientes parámetros:

- Cantidad y velocidad del tráfico.
- Clasificación del túnel.
- Condiciones de luminancia externa, tanto en el día como en la noche.

— Equipo eléctrico.

Para la calidad de la iluminación del túnel se deben cumplir los parámetros establecidos en el capítulo 4 de la norma CIE 189 2010.

NOTA 12. La longitud de cada zona varía con los parámetros de diseño en cada túnel. La longitud del umbral (zona interior adyacente al portal) y de la zona de transición o adaptación depende de la velocidad de diseño del túnel.

#### **4.5.5 Clasificación de los túneles**

**4.5.5.1** Los túneles se clasifican según su longitud y para fines de alumbrado, en *túneles cortos* y *túneles largos*. Se define como túnel corto aquel que sin tráfico, las salidas y sus alrededores, son claramente visibles desde un punto situado fuera de la entrada a él. Un túnel puede tener hasta 50 metros de largo sin que se necesite alumbrado durante las horas del día. Si un túnel corto no es recto o si el tráfico es muy intenso, el efecto de silueta es menos marcado y puede ser necesaria una iluminación artificial. Los túneles que no se ajusten a la definición anterior, son considerados túneles largos.

**4.5.5.2** Los túneles largos deben estar dotados de iluminación, debiéndose contemplar los alumbrados diurno, crepuscular y nocturno. En los accesos a este tipo de túneles se implantará alumbrado público, como mínimo, 300 m antes y después de la entrada y salida.

**4.5.5.3** Para el alumbrado diurno y crepuscular, en túneles con tráfico en las dos direcciones, deben preverse tres escalones o niveles de iluminación a la entrada, el tramo central y otros tres escalones, idénticos a los de la entrada, para la salida del túnel, siendo el alumbrado nocturno constante para todo el túnel.

**4.5.5.4** Cada escalón contemplará un tramo de túnel de 50 m de longitud, como mínimo, pudiendo alcanzarse hasta 200 m, dependiendo de la limitación en la velocidad de los vehículos. El tramo central tendrá medidas concretas que dependerán de la longitud real del túnel.

**4.5.5.5** Es necesario aclarar que el diseño de la iluminación del túnel se realiza de manera independiente en cada entrada. Si el túnel es de una sola dirección de circulación, solamente se considerará una zona de umbral y transición en la boca de entrada, siendo también constante para todo el túnel el alumbrado nocturno. Si el túnel tiene dos direcciones de circulación, se deben considerar, tanto a la entrada como a la salida, zonas de umbral y sus correspondientes transiciones.

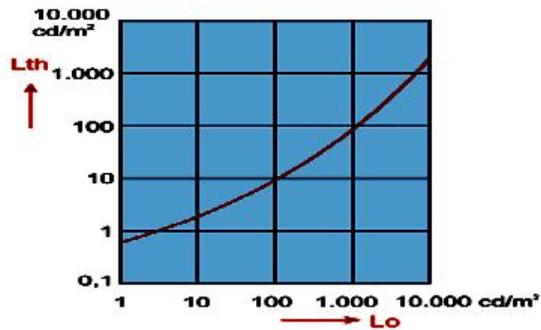
**4.5.5.6** Por razones de seguridad se debe tener alumbrado de emergencia en el caso de túneles de longitudes superiores a 100 m o en aquellos en los que exista algún punto en su interior desde el que no se pueda ver ninguna de las bocas del túnel.

#### **4.5.6 Requisitos para la iluminación de túneles durante el día**

**4.5.6.1 Zona de adaptación o zona de umbral.** El conductor que se acerca a la entrada de un túnel durante el día, ha de adaptar sus ojos para pasar de un alto nivel de luminancia que prevalece en el exterior, a la luminancia del interior. Por consiguiente, si el túnel es largo y el nivel de luminancia dentro de él es mucho más bajo que el de fuera, el túnel se presenta como un "hueco negro" Por lo que no será visible ningún detalle de su interior. Esto se conoce como **deslumbramiento** por ausencia de luz y su duración fisiológica es mayor que cuando se hace la transición contraria.

**4.5.6.2** Para hacer visibles los obstáculos dentro del túnel hay que aumentar el nivel de luminancia de su entrada, esto es, en la zona de adaptación (**L<sub>th</sub>**). El nivel de luminancia requerido en esta zona depende del nivel exterior (**L<sub>o</sub>**), que en un día soleado puede alcanzar unas 8 000 cd/m<sup>2</sup> (Esta luminancia es equivalente a una iluminancia horizontal del orden de 100 000 luxes). (Ver figura 24.a).

FIGURA 24.a. Nivel de iluminancia en túneles



**4.5.6.3** La longitud de la zona de adaptación o zona de umbral depende principalmente de la distancia a la cual pueda ser visible un objeto crítico (objeto crítico es aquel que tiene 0,2 X 0,2 m y contraste de 20%) en el 75% de los casos y a una distancia que depende de la velocidad permitida dentro del túnel. Además, el tiempo de visión debe ser al menos 0,1 segundos.

Una forma para reducir el nivel de luminancia de la zona de adaptación es disminuir el nivel de iluminación en la zona de acceso (fuera del túnel). Esto puede lograrse oscureciendo los alrededores de la entrada, utilizando colores oscuros en la superficie y muros laterales de la calzada y sembrando árboles y arbustos en los alrededores de la entrada.

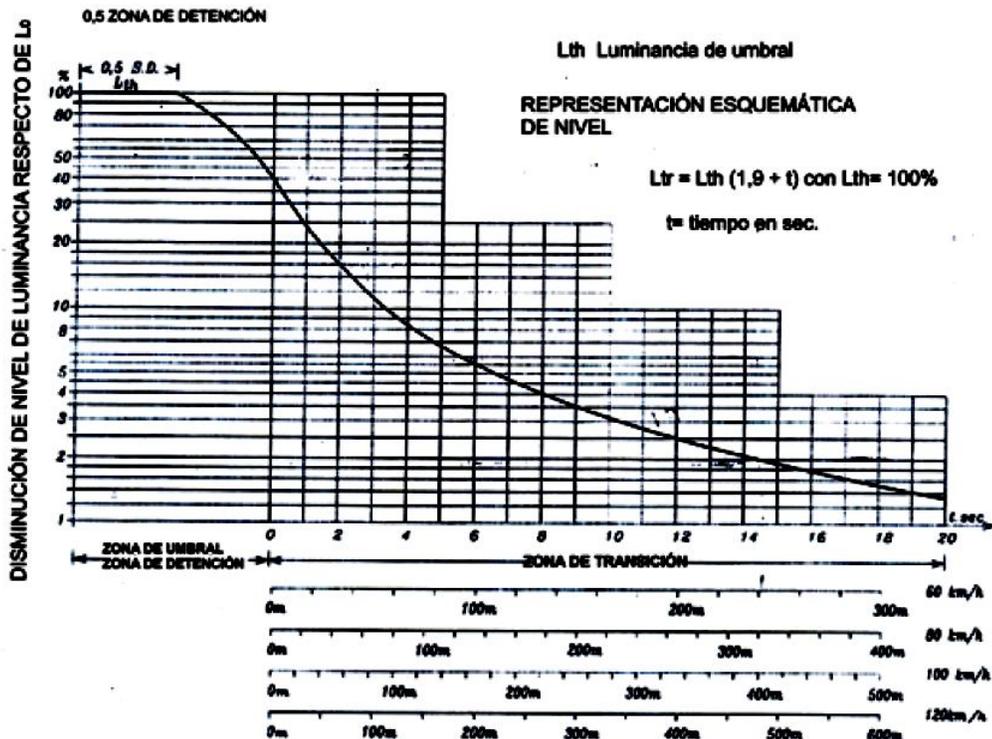
La longitud total de la zona de umbral debe ser al menos igual a la distancia de parada. Durante la primera mitad de la distancia, el nivel de luminancia debe ser igual a  $L_{th}$  (valor de la luminancia de umbral a la entrada del túnel). Se recomienda que a partir de la mitad de la distancia de parada hacia delante, el nivel de luminancia se reduzca gradualmente, hasta un valor, al final de la zona de umbral, igual a 0,40  $L_{th}$  (ver figura 24.b). La reducción gradual puede hacerse en escalones.

Sin embargo, los niveles de luminancia no deben caer por debajo de los valores correspondientes a la disminución gradual recomendada y dibujada en la figura 24.b, según la norma CIE 88 -2004.

Para el cálculo de la luminancia de umbral  $L_{th}$  se debe consultar el numeral 6.2 (método del contraste percibido) y el Anexo A.1 (método L20) de la norma CIE 88 2004.



FIGURA 24.b. Gradiente de luminancia en el túnel (figura 6.6 de la norma CIE 88 de 2004)



- a) *Zona de transición.* El conductor que entra en un túnel, necesita cierto tiempo para que sus ojos se adapten a un nivel inferior de luminancia. Por consiguiente, es preciso que la transición al nivel más bajo reinante en el túnel se haga gradualmente.

La reducción de la luminancia de la calzada en la zona de transición sigue, en principio, la curva mostrada en la figura 24.b. La zona de transición comienza al final de la zona de umbral ( $t = 0$ ).

Esta curva puede ser sustituida por una curva escalonada con niveles que nunca deben caer por debajo de la curva continua. La relación de luminancia máxima permitida al pasar de un escalón a otro es de 3.

El último escalón no debe ser mayor de dos veces la luminancia de la zona interior.

Como el campo de visión del conductor está formado por el interior del túnel, puede ser aconsejable una zona de transición mayor a fin de contrarrestar un segundo efecto de agujero negro.

Para un confort de conducción adicional, en el caso de la curva escalonada, la longitud de la zona de transición puede, a su término, extenderse 1 a 2 segundos sobre la longitud que sigue a partir de la curva CIE.

- b) *Zona interior.* La luminancia media de la calzada en la zona interior del túnel está dada a continuación en función de la distancia de parada y del caudal de tráfico. La zona interior de un túnel muy largo consiste en dos subzonas diferentes. La primera subzona corresponde a la longitud que es cubierta en 30 segundos y debe ser iluminada con los niveles de "túneles largos".

La segunda subzona corresponde a la longitud restante y debe ser iluminada con los niveles de "túneles muy largos".

Los valores recomendados de luminancia en  $\text{cd/m}^2$  se dan en las tablas 29 y 30.



**TABLA 29. Valores de luminancia en la zona interior (túneles largos)**

Distancia de parada	TÚNELES LARGOS Caudal de tráfico	
	Bajo	Elevado
160 m	6	10
60 m	3	6

Fuente CIE 88. 2004 tabla 6.7.1

**TABLA 30. Valores de luminancia en la segunda parte de la zona interior (túneles muy largos)**

Distancia de parada	TÚNELES MUY LARGOS Caudal de tráfico	
	Bajo	Elevado
160 m	2,5	4,5
60 m	1	2

Fuente CIE 88.2004 tabla 6.7.2

Para distancias de parada que se encuentren entre las cifras establecidas y caudales de tráfico intermedios (entre bajo y elevado), puede usarse una interpolación lineal.

El caudal de tráfico usado en las tablas anteriores puede definirse como sigue:

**TABLA 31. Clasificación del caudal de tráfico**

Caudal de tráfico (vehículos/hora/carril)	Tráfico unidireccional	Tráfico bidireccional
Elevado	>1.500	>400
Bajo	<500	<100

Fuente CIE 88.2004 tabla 6.7.3

- c) *Caudal de tráfico.* El número de vehículos que pasan por un punto específico en un instante establecido en dirección o direcciones establecidas. En el diseño del túnel, se usarán el tráfico en horas punta, vehículos por carril y por hora.
- d) *Zona de salida.* Durante el día, para un conductor que se encuentra dentro del túnel, la salida se presenta como si fuera a entrar a un agujero brillante, contra el cual los obstáculos son claramente visibles como siluetas.

Puesto que la adaptación de un nivel bajo de luminancia a otro mayor se efectúa rápidamente, las exigencias de iluminación de la zona de salida son mucho menos severas que las de la zona de entrada.

En el caso de túneles unidireccionales y con la finalidad de asegurar una iluminación adecuada para los pequeños vehículos y una visión hacia atrás suficiente mediante los espejos retrovisores,

la zona de salida debe ser iluminada del mismo modo que la zona interior del túnel. En situaciones en las que se esperan peligros adicionales cerca de la salida del túnel y en túneles en los que la zona interior es larga, se recomienda que la luminancia durante el día en la zona de salida aumente linealmente sobre una longitud igual a la distancia de parada (antes del portal de salida), desde el nivel de la zona interior a un nivel 5 veces al de la zona interior a una distancia de 20 m del portal de salida.

En el caso de túneles bidireccionales o de dos sentidos de circulación, la salida debe iluminarse de manera idéntica a la entrada.

#### **4.5.7 Requisitos para la iluminación de túneles durante la noche**

**4.5.7.1** En cuanto a los requerimientos del alumbrado durante las horas de la noche, la situación es inversa a la de las horas del día. El nivel de luminancia fuera del túnel es entonces menor que el de adentro y el problema de adaptación al agujero negro puede aparecer en la salida del túnel. No habrá dificultades, mientras la relación entre la luminancia dentro del túnel y fuera de él sea menor de 3.1.

**4.5.7.2** Esta condición no se logra si la iluminación del túnel sigue funcionando con la misma intensidad durante la noche. El alumbrado adicional instalado en las distintas zonas para cubrir las exigencias de la luz diurna debe apagarse. Si el túnel se encuentra en un tramo de carretera iluminado, la calidad del alumbrado dentro del túnel debe ser al menos igual al nivel de iluminación, uniformidades y deslumbramiento de la carretera de acceso. La uniformidad durante la noche en los túneles satisfará los mismos requisitos que el alumbrado diurno.

**4.5.7.3** Si el túnel es parte de un tramo de carretera que no está iluminado, la luminancia media de la superficie de la calzada interior no debe ser menor de  $1 \text{ cd/m}^2$ , la uniformidad global al menos del 40% y la uniformidad longitudinal al menos el 60%.

**4.5.7.4** Las vías de salida con poca iluminación deben equiparse con una instalación de alumbrado aceptable, en una longitud de unos 200 metros desde la salida del túnel, hacia afuera, para ayudar a la adaptación de los ojos del conductor.

#### **4.5.8 Visibilidad dentro de un túnel iluminado**

**4.5.8.1** La altura de montaje de las fuentes luminosas en los túneles es inferior a la empleada en la iluminación de vías. Hay, por consiguiente, mayor posibilidad que una luminaria no apantallada produzca deslumbramiento.

**4.5.8.2** Un apantallamiento adecuado es lo más importante en la zona central, por ser relativamente oscura. En la zona de umbral, con su alto nivel de luminancia, el apantallamiento no es tan exigente y la luminancia de las fuentes puede ser más alta. Esto contribuirá también a que el conductor se dé cuenta que está entrando en un túnel. Una diferencia de colores entre la luz de día y el color de la fuente luminosa a la de la entrada del túnel sirve al mismo propósito.

#### **4.5.9 Restricción del efecto de parpadeo o "flicker"**

**4.5.9.1** Se han experimentado sensaciones de parpadeo o flicker, cuando se conduce a través de cambios periódicos espaciales de luminancia. El parpadeo es el resultado de las propias luminarias que aparecen y desaparecen en la periferia del campo de visión del automovilista. En condiciones específicas el flicker puede causar incomodidad que a veces puede ser severa.

El grado de falta de confort visual experimentado debido al efecto flicker depende de:

- a) El número de cambios de luminancia por segundo (frecuencia de parpadeo o flicker).
- b) La duración total de la experiencia.
- c) La relación de la luminancia de pico (luz) a valle (oscuridad) dentro de cada periodo (profundidad de modulación de luminancia), y la pendiente del incremento (tiempo de subida)

**4.5.9.2** Los tres factores mencionados dependen de la velocidad del vehículo y de la separación entre luminarias, (c) depende también de las características ópticas y de la separación entre luminarias.

**4.5.9.3** En el alumbrado, casi en línea continua, cuando la distancia entre el final de una luminaria y el inicio de la siguiente luminaria es menor que la longitud de las luminarias, el efecto de falta de confort por el flicker es independiente de la frecuencia.

**4.5.9.4** La frecuencia de flicker se calcula dividiendo la velocidad en m/s por la separación entre luminarias (centro a centro, en m). Por ejemplo, para una velocidad de 60 km/h (16,6 m/s) y una separación de 4 m, la frecuencia será de  $16,6/4 = 4,2$  Hz.

En general, el efecto flicker es despreciable a frecuencias inferiores a 2,5 Hz y superiores a 13 Hz.

**4.5.9.5** Cuando la frecuencia está entre 4 Hz y 11Hz, y tiene una duración de más de 20 s, puede aparecer falta de confort si no se toman ciertas medidas. Se recomienda que, en instalaciones en las que la duración es de más de 20 s, se evite el intervalo de frecuencias entre 4 Hz y 11 Hz, particularmente cuando se utilizan pequeñas fuentes luminosas con elevada luminancia. Luminarias de gran tamaño con bajos gradientes en la distribución de la luz (como por ejemplo, luminarias con tubos fluorescentes montadas longitudinalmente) usualmente conducirán a una menor falta de confort.

#### **4.5.10** *Guía visual dentro de un túnel*

**4.5.10.1** Es fácil conseguir una guía visual a lo largo del túnel. Esto se consigue colocando las fuentes luminosas según una disposición lógica. Es aconsejable instalar por lo menos una línea continua de fuentes luminosas en cada sentido del flujo del tráfico, haciendo coincidir los ejes longitudinales de las luminarias con cada uno de los ejes de circulación dentro del túnel adicionalmente, se consigue una mayor guía visual.

**4.5.10.2** Para una buena guía visual, es deseable que haya una pequeña diferencia de luminancia o color entre la calzada y las paredes. Deben evitarse superficies con reflexión especular. Para paredes se recomienda un tinte pastel suave, por ejemplo, un verde claro. El acabado de las paredes debe ser de material fácil de lavar. El techo de los túneles se ennegrece fácilmente, básicamente por la contaminación con los gases residuales de la combustión en los motores de los vehículos, en tanto que limpiarlo resulta difícil.

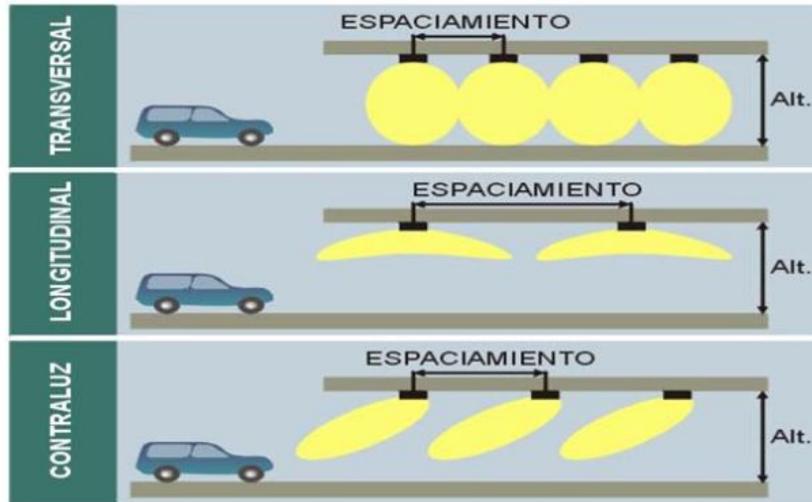
**4.5.10.3** Esto sin embargo, no es una desventaja, al contrario, es conveniente, porque el techo ocupa solamente una pequeña parte del campo de visión y un techo oscuro da al túnel la impresión de mayor altura. Recuérdese que el efecto silueta se da principalmente entre las paredes del túnel y los objetos (obstáculos) dentro de él.

#### **4.5.11** *Sistemas de iluminación de túneles*

**4.5.11.1** En el alumbrado de túneles se pueden usar luminarias con diferentes tipos de distribución luminosa. Hay tipos que son los más representativos cuyas explicaciones son:



FIGURA 25. Tipos de luminarias para túneles, según su distribución luminosa



- a) *Distribución transversal.* Las intensidades luminosas se irradian principalmente en ángulo recto con el eje longitudinal del túnel.

El ejemplo más familiar de este alumbrado es la hilera continua de tubos fluorescentes. El sistema óptico que se utiliza en este caso, es muy adecuado para el empleo con fuentes lineales de luz.

Las ventajas de dicho sistema son: buena orientación visual, deslumbramiento mínimo, penetración luminosa entre vehículos, y disposición de conmutación sencilla. Sus desventajas son: eficiencia moderada por el corto espaciamiento de las luminarias y posible efecto de parpadeo, que se produce en el caso de no planificarse debidamente la conmutación de las luminarias.

- b) *Distribución longitudinal.* Las intensidades luminosas se irradian más o menos en paralelo al eje longitudinal del túnel y el sistema óptico que se usa debe ser adecuado para el empleo de las fuentes puntuales de luz, como son las lámparas de sodio de alta presión tubulares.

Las ventajas de este sistema son: un mayor rendimiento de la distribución lumínica para obtener los niveles de luminancia adecuados y el gran espaciamiento entre luminarias. Sus desventajas son: la posible creación de sombras, la irregular luminancia de las paredes y el hecho de que la conmutación nocturna exige luminarias de doble lámpara o accesorios de reducción de intensidad.

- c) *Distribución contraluz.* Esta distribución a contraluz consiste en colocar luminarias con una distribución de la intensidad luminosa dirigida en contra de la dirección del flujo de tráfico. Se caracteriza por producir un alto contraste negativo de los objetos situados en la vía debido a que la luminancia de los planos que mira el conductor es muy baja. Garantiza una muy buena percepción de contrastes, una eficiencia en luminancia mayor a los sistemas anteriores lo que conduce a una disminución en la potencia eléctrica instalada, un adecuado nivel de deslumbramiento.

Para tener las ventajas descritas se deben cumplir con los siguientes requisitos:

- La parte de las paredes con alta luminancia debe limitarse a una altura de 1 m para reducir la iluminancia vertical ( $E_v$ ) de los obstáculos.
- La intensidad luminosa emitida por la luminaria en la dirección del tráfico debe limitarse al máximo.

- La distribución fotométrica debe ser tal que el ángulo vertical del haz sea alto, pero en lo posible inferior a 60° y las intensidades entre 70° y 90° debe mantenerse tan baja como sea posible, con el fin de evitar el deslumbramiento.

Esta distribución se utiliza preferencialmente para iluminar la zona de umbral y las zonas de transición de los túneles unidireccionales. En el caso de túneles bidireccionales se restringe a los túneles largos provistos con zona interior entre las dos bocas de entrada.

#### **4.5.12 Equipos para iluminación de túneles**

**4.5.12.1** La localización y tipo de lámpara a utilizar en la iluminación de túneles depende del diseño específico del túnel. Las lámparas para la iluminación de túneles deben tener alta eficacia y larga vida.

Las luminarias deben cumplir los siguientes requisitos:

- Robustas, con un riesgo mínimo de daño, tanto por el tráfico como por la limpieza.
- El grado de protección debe ser mínimo de IP 66, de tal manera que permita lavarlas con agua a presión.
- De fácil acceso y mantenimiento.
- Propias para el control adecuado de la luminancia de la fuente luminosa.
- Provistas de prensaestopas para salida y entrada de cables, así como de los elementos de protección contra corto circuitos.
- Respecto de la distribución luminosa, debe ser tal que permita cumplir con los parámetros de iluminación exigidos para iluminar las diferentes zonas del túnel.
- Las luminarias deben tener una protección contra los impactos mínimo de IK 08.

#### **4.5.13 Control automático del alumbrado de túneles**

**4.5.13.1** El alumbrado de un túnel debe ser diseñado para que sea compatible con un nivel máximo de iluminancia exterior (alrededor de 100 000 lux), se necesita asegurar tanto desde el punto de vista económico, como del confort visual, que los niveles de iluminación dentro del túnel, se ajusten automáticamente a las variaciones de la iluminación exterior.

**4.5.13.2** El sistema de mando del alumbrado debe poseer la flexibilidad funcional deseada para reaccionar a las modificaciones más súbitas en la luminosidad ambiente. Ejemplo: es típico que el tiempo de ascenso en régimen máximo de eficacia luminosa de la lámpara de descarga, sea mayor de 3 minutos para las lámparas de sodio baja presión. Sin embargo, cambios bruscos pueden intervenir en la claridad del cielo, como consecuencia de los movimientos del sol al interponerse obstáculos como una montaña, una edificación, pero no se tendrán en cuenta modificaciones rápidas y efímeras de L20°, como las debidas a nubes. Por el contrario, será preciso reaccionar con un retardo razonable a cualquier cambio rápido de L20°, provocado por la salida del sol o la puesta de sol detrás de los edificios sobre las montañas.

**4.5.13.3** Para obtener mejor control de la luminancia en la zona de adaptación y con vistas a tener en cuenta variaciones debidas al estado de bueno o malo del sistema de mantenimiento del túnel, se instala un segundo luminancímetro. Mide el nivel de luminancia en las zonas de adaptación y transmite estos valores al sistema de gestión de las luminarias, a fin de adaptar el régimen (soleado, nubloso, oscuro) a la relación Lth / L20° elegido.

**4.5.13.4** Para la zona interior, en el caso de alumbrado por tubos fluorescentes alimentados por balastos electrónicos de alta frecuencia que permiten la variación continuada del flujo luminoso, la

luminancia inferior es medida por medio de un tercer luminancímetro, a fin de tener en cuenta variaciones de luminancia resultante del estado de mantenimiento (bueno o malo). Este luminancímetro mide el nivel de luminancia en la zona interior del túnel envía la información al microprocesador central, que conserva en memoria el nivel de luminancia a mantener en la zona interior, y el microprocesador da la orden al variador de adaptar el nivel de luminancia al nivel previamente programado, cualquiera que sea el estado de mantenimiento de la instalación de alumbrado (ensuciamiento de las luminarias y paredes del túnel, envejecimiento de las fuentes luminosas).

#### 4.5.14 Recomendaciones adicionales en la iluminación de túneles

**4.5.14.1** Los modernos diseños de iluminación de túneles contemplan la iluminación desde los extremos superiores de la pared. Esto mejora las condiciones de mantenimiento de las luminarias, pues en el túnel, es evidente que el espacio más contaminado por el humo de los vehículos, es precisamente el techo.

**4.5.14.2** Las paredes ofrecen una facilidad mayor para el mantenimiento durante el período mismo de utilización del túnel en tanto que el mantenimiento de luminaria al centro requieren, en la mayoría de los casos, del cierre temporal del túnel.

**4.5.14.3** En ciertos diseños, especialmente cuando se utilizan luminarias fluorescentes, los equipos pueden colocarse en el techo del túnel, lo cual contribuye a mejorar la guía visual. La localización de los equipos y el tipo de fuente y luminaria depende de las características del túnel y de los requerimientos fotométricos exigidos.

La iluminación normal se proporcionará de modo que asegure a los conductores una visibilidad adecuada de día y de noche en la entrada del túnel, en las zonas de transición y en la parte central

**4.5.14.4** 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. 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 luxes y  $0,2 \text{ cd/m}^2$ .

**4.5.14.5 Túneles peatonales.** Independiente de la longitud, deben suministrar un adecuado alumbrado de seguridad para los usuarios. De acuerdo con la localización del túnel, el diseñador debe establecer el nivel de iluminancia y el tipo de fuente a utilizar de acuerdo con la tabla 32.

**TABLA 32. Iluminación de túneles peatonales**

Uso (peatones /día en ambas direcciones)	Iluminancia Luxes	Fuente sugerida
Bajo (hasta 5.000)	20 a 50	Fluorescente
Medio (entre 5.000 y 15.000)	50 a 100	Fluorescente
Alto (más de 15.000)	100 a 150	Fluorescente o HPS

Fuente. Adaptado de IESNA RP 22-05

## 4.6 Contaminación lumínica

**4.6.1** La contaminación lumínica se define como la propagación de luz artificial hacia el cielo nocturno.

Igualmente, se tiene contaminación luminosa al iluminar espacios que no se requieren iluminar. La contaminación lumínica es producto de un diseño o montaje inadecuado, por lo que la solución se debe dar desde la etapa de diseño de los proyectos.

**4.6.1.1** La contaminación lumínica puede presentar el riesgo de cambios fisiológicos que alteran las condiciones de visión, debido a la necesidad de adaptación del ojo a la iluminación artificial. Este riesgo es mayor para las futuras generaciones en razón a la mayor exposición e incorporación de la luz artificial a la vida cotidiana, por lo que se deben tomar medidas tendientes a su mitigación.

**4.6.1.2** Debe distinguirse el brillo natural, atribuible a la radiación de las fuentes u objetos celestes y a la luminiscencia de las capas altas de la atmósfera, del resplandor luminoso debido a las fuentes de luz artificial. En este último caso, tienen que considerarse las emisiones directas hacia arriba de diversas fuentes de luz artificial, así como la radiación reflejada por las superficies iluminadas por dichas fuentes de luz.

**4.6.1.3** El resplandor luminoso nocturno o contaminación lumínica, da lugar a que se incremente el brillo del fondo natural del cielo, dificultando las observaciones astronómicas de los objetos celestes y alterando ciclos normales de flora y fauna. La limitación del resplandor luminoso nocturno significa reducción de la emisión de luz hacia arriba, que no resulta útil en el alumbrado de vías, lo que implica mayor eficiencia energética en la instalación.

#### **4.6.2** *Orígenes de la contaminación lumínica*

**4.6.2.1** La contaminación lumínica puede originarse por:

- La utilización de luminarias con globos sin reflector o proyectores y luminarias que no controlan el flujo luminoso por encima de la horizontal.
- La inadecuada distribución del flujo luminoso de las luminarias en especial las ornamentales y proyectores.
- La falta de control sobre la iluminación decorativa en edificios, (anuncios publicitarios mal diseñados e instalados e inadecuados diseños de luminarias ornamentales).
- La reflexión de las vías y de los elementos que hacen parte del mobiliario urbano.

#### **4.6.3** *Formas de contaminación lumínica*

**4.6.3.1** La contaminación lumínica puede manifestarse de diversas formas que pueden clasificarse dentro de cuatro categorías:

- a) *Intrusión lumínica.* Se produce cuando la luz artificial procedente de las luminarias entra por las ventanas invadiendo el interior de las viviendas, modificando el entorno doméstico y provocando trastornos de las actividades humanas.
- b) *Difusión de luz hacia el cielo.* Se produce por la difusión de la luz por parte de las moléculas del aire y del polvo en suspensión. Esto produce que parte del haz sea desviado de su dirección original y acabe siendo dispersado en todas las direcciones, en particular hacia el cielo.
- c) *Deslumbramiento.* Se produce cuando las personas que transitan por la vía pública, pierden la percepción visual, y es ocasionada por exceso o carencia de luz. Este efecto es especialmente peligroso para el tráfico vehicular, dado que puede producir accidentes.
- d) *Contraste.* La visibilidad de un objeto situado sobre un fondo, depende de la diferencia de las luminancias entre el objeto y el fondo.

Un objeto claro sobre fondo oscuro, traerá un contraste positivo (valor entre 0 e infinito).

Si  $L_o > L_f$   $C > 0$  contraste positivo (objeto más claro que el fondo).

En cambio un objeto más oscuro que su fondo, traerá un contraste negativo (variando entre 0 y 1).

Si  $L_o < L_f$   $C < 0$  contraste negativo (objeto más oscuro que el fondo).

**4.6.3.2** El resplandor luminoso nocturno en el cielo produce un velo en el campo de observación que tiene su propia luminancia  $L_v$  que se añade a la luminancia del objeto y del fondo, de forma que el nuevo contraste  $C'$  es el siguiente:

$$C' = (L_o - L_v) - (L_f + L_v) / (L_f + L_v)$$

**4.6.3.3** Cuando la luminancia de velo  $L_v$  aumenta, el objeto observado puede desaparecer del campo visual, particularmente en el caso de observaciones astronómicas cuando se trata de una estrella u objeto celeste con una luminancia  $L_o$  muy débil.

#### 4.6.4 Cálculo de la contaminación lumínica

**4.6.4.1** Como los estudios de contaminación lumínica han sido promovidos por las ciudades que poseen observatorios astronómicos, la Comisión Internacional de Iluminación CIE en la norma 126-1997 *GUIDELINES FOR MINIMIZING SKY GLOW*, define los siguientes conceptos:

Para calcular el grado de contaminación lumínica enviado sobre la horizontal de una instalación de alumbrado, debe tenerse en cuenta:

$$\varphi_{\text{Total}} = \text{ULOR} + \text{UWLR} + \text{Kr1} + \text{Kr2}$$

Donde:

**Kr1** = Reflexión de la vía

**Kr2** = Reflexión de alrededores

**ULOR** = Upward Light Output Ratio = la relación del flujo luminoso de la luminaria con respecto al flujo luminoso de la lámpara, enviado sobre la horizontal.

**UWLR** = Upward Waster Light Ratio = es el porcentaje del flujo luminoso de una luminaria, enviado sobre la horizontal.

**FIGURA 26. Parámetros de cálculo de la contaminación lumínica**



**4.6.4.2** Otros conceptos que se deben tener en cuenta en el control de contaminación lumínica son:

*Efecto deslumbrante (Direct glare).* Pérdida de percepción visual ocasionada por exceso o carencia de luz.

*Luz desaprovechada o desperdiciada (Spill light).* Flujo luminoso emitido por un equipo de iluminación, que cae por fuera de los límites de diseño de la instalación.

*Luz ascendente (Upward light).* Flujo luminoso emitido por un equipo de iluminación (luminaria y lámpara), que se envía por encima de la horizontal.

*Luz reflejada ascendente (Upward reflected light).* Flujo luminoso reflejado por la vía, (pavimento y obstáculos del mobiliario urbano) enviada por encima de la horizontal.

*Luz o flujo útil (Useful light).* Flujo luminoso emitido por un equipo de iluminación (luminaria y lámpara), que se envía al área a iluminar (calzada, fachada, monumento, etc).

#### 4.6.5 Sistema de zonificación

**4.6.5.1** Las exigencias fotométricas para las vías teniendo en cuenta la actividad humana nocturna, la seguridad en la circulación de vehículos y peatones, la calidad de vida, la integridad del entorno, las propiedades, los bienes, etc., en relación con la contaminación lumínica, hace que se deban buscar soluciones que hagan posibles las observaciones astronómicas en la noche. Para limitar esas interferencias, se definió introducir, según la norma *CIE 126 Guidelines for minimizing sky glow*, un sistema de zonificación que tiene los siguientes propósitos:

- Establecer los requisitos de iluminación en una zona donde exista un observatorio astronómico.
- Fijar las exigencias de las zonas adyacentes a un observatorio.

Lo que permitió definir las siguientes zonas:

**TABLA 33. Definición de zonas para la contaminación lumínica**

ZONA	TIPO	DESCRIPCIÓN
E1	Áreas con entornos oscuros	Observatorios astronómicos de categoría internacional
E2	Áreas de bajo brillo	Áreas rurales
E3	Áreas de brillo medio	Áreas urbanas residenciales
E4	Áreas de brillo alto	Centros urbanos con elevada actividad nocturna

#### 4.6.6 Flujo hemisférico superior (FHS)

**4.6.6.1** El flujo hemisférico superior (FHS) se define como el flujo luminoso emitido por el equipo de iluminación (luminaria y lámpara) por encima del plano horizontal. Dicho plano corresponde al ángulo  $\gamma = 90^\circ$  en el sistema de representación (C,  $\gamma$ ). El flujo hemisférico se expresa como un porcentaje del flujo total emitido por la luminaria.

Dadas las anteriores disposiciones, se hacen las siguientes precisiones:

- a) En vías importantes de la malla vial, con clases de iluminación M1 a M3, se deben instalar luminarias con  $FHS \leq 3\%$ . En el resto de vías de tráfico vehicular con clases de iluminación M4 a M6 se deberá utilizar un  $FHS \leq 5\%$ .
- b) En el caso de alumbrados peatonales, clases P1 a P7, así como artísticos con faroles, aparatos históricos etc., el flujo hemisférico superior instalado FHS debe ser  $\leq 25\%$ .

Cuando las instalaciones de alumbrado existentes lleguen al final de su vida útil, o por cualquier causa se proceda a su renovación, se deben reemplazar por luminarias con las limitaciones de flujo hemisférico superior a las aquí señaladas.

#### **4.6.7 Efectos de la contaminación lumínica**

- a) Despilfarro de energía eléctrica, que ocasiona mayores costos y afectación al ambiente por mayores emisiones de gases. No se debe confundir con dejar las vías con una iluminación deficiente; al contrario, las acciones llevadas a cabo para reducir la contaminación lumínica debe llevar asociadas una mejora de la calidad de la iluminación en los ambientes requeridos.
- b) Inseguridad vial y molestias visuales, producto del deslumbramiento, cuando los artefactos están mal orientados.
- c) Efectos medioambientales en el ecosistema urbano. La vida de los animales, huyen de las ciudades para encontrar oscuridad. La fotosíntesis y el crecimiento de las plantas se desequilibra pudiendo producir envejecimiento prematuro de algunas especies.

Para mitigar estos efectos en el caso de alamedas en rondas de ríos o en humedales, quebradas y canales distantes de vías vehiculares iluminadas, deben utilizar foto controles temporizados para interrumpir el servicio de tal forma que las luminarias se enciendan durante un período de tiempo que satisfaga las necesidades de los usuarios y luego se apaguen para preservación de las especies.

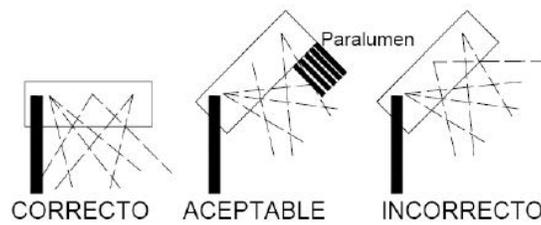
- d) Efectos sobre el ritmo biológico de las personas. Los ritmos circadianos (de vigilia y de sueño) son los más afectados por la exposición a la luz, trastornos de la personalidad, insomnio, depresión y estrés se incrementan por un uso inadecuado de iluminación.
- e) Intromisión en la vida privada de las personas o sea la invasión de luz proveniente del exterior en los espacios privados, que penetra a través de las ventanas y provoca molestias, por iluminación dirigida a fachadas y ventanas y no hacia el piso.
- f) Pérdida de percepción de estrellas y astros. Impedimento para las observaciones astronómicas.

#### **4.6.8 Cómo minimizar el impacto de la contaminación lumínica**

**4.6.8.1** Para minimizar el impacto de la contaminación lumínica se hacen las siguientes recomendaciones:

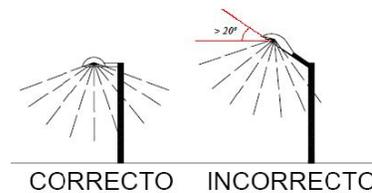
- a) El conjunto óptico de las luminarias de alumbrado público no podrán tener un ángulo de inclinación mayor de 20° con respecto a la horizontal. Por ello antes de determinar la inclinación del soporte de la luminaria se debe conocer la inclinación del conjunto óptico, cuando la luminaria se encuentra en posición horizontal.
- b) Al emplear en alumbrados peatonales, los faroles artísticos, aparatos históricos, etc., estos deben estar provistos de bloque óptico, de forma que al tiempo que se controla la emisión de luz en el hemisferio superior, se aumente el factor de utilización en el hemisferio inferior.
- c) Utilizar luminarias y proyectores que dirijan el flujo lumínico hacia el área a iluminar y para ello la distribución de su flujo luminoso deberá ser la adecuada para obtener la máxima eficiencia energética de la instalación.
- d) Controlar la iluminación en el alumbrado de monumentos, parques deportivos y edificios administrativos, oficiales y gubernamentales. En el caso de proyectores, además de cuidar con esmero su apuntamiento, se debe prever la instalación de rejillas paralúmenes y otros dispositivos que controlen la dirección del flujo luminoso emitido, reduciendo el deslumbramiento y la contaminación luminosa.

**FIGURA 27. Control del flujo luminoso de proyectores**



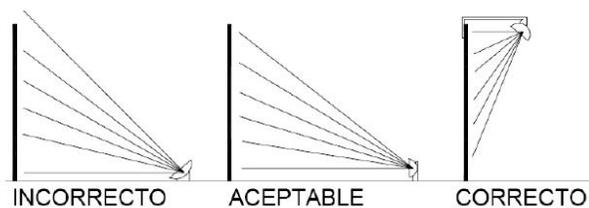
- e) Utilizar luminarias o soportes de luminarias que controlen el flujo luminoso enviado por encima de la horizontal, de tal manera que el conjunto óptico no quede con un ángulo de inclinación mayor de 20° con respecto a la horizontal.

**FIGURA 28. Ángulos de inclinación de las luminarias**



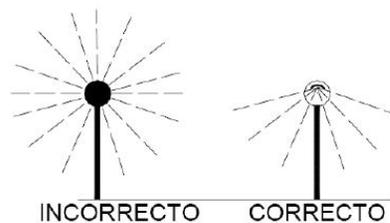
- f) En los proyectores empotrados en el piso, utilizar rejillas antideslumbrantes y reflectores capaces de controlar con precisión la emisión lumínica.
- g) Dirigiendo la luz en sentido descendente y no ascendente, siempre que sea posible, especialmente en iluminación de fachadas y monumentos.

**FIGURA 29. Ángulos de inclinación de proyectores para iluminar una superficie vertical**



- h) Eliminando las luminarias en forma de globo que no tengan reflector.

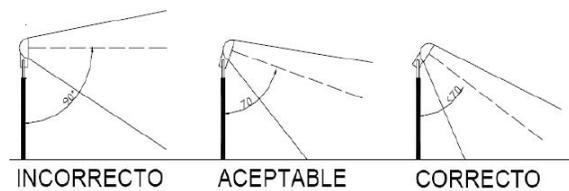
**FIGURA 30. Control del flujo luminoso de luminarias esféricas o globos**



- i) Utilizando los criterios de deslumbramiento indicados en la Norma CIE-115.2010; es decir dirigiendo hacia abajo el haz de los rayos, manteniéndolos por debajo de 70°.

Si se eleva la altura de montaje, debería disminuirse el ángulo de haz luminoso.

**FIGURA 31. Ángulos de inclinación de proyectores**



- j) Utilizar pavimentos con un coeficiente de luminancia medio o grado de luminosidad  $Q_0$  lo más elevado posible y cuyo factor especular  $S_1$  sea bajo. La luminosidad del pavimento de una calzada está estrechamente relacionada con las propiedades fotométricas del mismo y en concreto, con el coeficiente de luminancia medio  $Q_0$  del pavimento, de forma que cuanto más elevado es dicho coeficiente, a idéntica iluminancia, mayor es la luminancia de la calzada y menor resulta el deslumbramiento perturbador  $T_I$ .

El factor especular  $S_1$  determina en qué medida las características del pavimento, respecto a la reflexión de la luz incidente, se separan de las de la superficie y asegura una reflexión difusa perfecta de forma que, a igualdad de iluminancia cuanto más bajo es el factor especular  $S_1$ , mayores son las uniformidades de luminancia.

- k) *Variaciones temporales de los niveles de iluminación.* En las vías de tráfico, zonas peatonales, ciclo vías, pueden reducirse los niveles luminosos a ciertas horas de la noche, siempre que quede garantizada la seguridad lumínica de los usuarios. En ningún caso, la reducción descenderá por debajo del nivel de iluminación aconsejable para la seguridad de tráfico y para el movimiento peatonal.

La reducción de los niveles luminosos mediante apagado de puntos de luz no es recomendable y en el supuesto de utilizar dicho procedimiento, deben mantenerse las uniformidades mínimas establecidas en las normas respectivas.

La reducción con sistemas de regulación se estima que es el procedimiento más adecuado ya que evita zonas de sombra y muros de luz que dificultan la visión manteniendo las uniformidades.

**4.6.8.2 Otras posibles soluciones para reducir contaminación lumínica nocturna.** Las posibles soluciones que permiten reducir contaminación lumínica nocturna son entre otras las siguientes:

- Apagar las iluminaciones publicitarias y ornamentales a partir de una hora determinada.
- Dirigir la luz en sentido descendente y no ascendente, sobre todo en iluminación de edificios y monumentos.
- Si no existiera posibilidad de cambiar el sentido de iluminación hacia abajo, y no hacia arriba, emplear pantallas y paralúmenes para evitar la dispersión del haz luminoso.
- No usar luz en exceso, cumplir las normas que determinan los niveles recomendables para iluminar casi todas las tareas.
- Utilizar en el alumbrado público luminarias con valores mínimos de emisión de luz por encima de la horizontal.
- La iluminación de edificios, fachadas o monumentos e instalaciones de alumbrado de zonas deportivas que se realizan con proyectores, deben estar ocultos a la visión directa.
- En alumbrado público debe evitarse el uso de postes de gran altura, salvo cuando otras exigencias así lo aconsejen.



- En alumbrado público, no deben emplearse luminarias que emitan un FHS superior al establecido en el presente reglamento.
- Para que el deslumbramiento sea mínimo, dirigir hacia abajo el haz de los rayos luminosos manteniéndolo por debajo de 70°. Si se eleva la altura de montaje debería disminuirse el ángulo del haz de los rayos luminosos.
- Dado que en lugares con niveles de luz ambiental baja, el deslumbramiento puede ser muy molesto, se deberá cuidar con esmero el posicionamiento y el apuntamiento u orientación de los aparatos de iluminación.
- Cuando resulte posible, implantar luminarias o proyectores con reflector asimétrico que permitan mantener su cierre frontal paralelo a la superficie horizontal que se quiere iluminar.

#### **4.6.9 Límites máximos permitidos de emisión lumínica hacia los cielos nocturnos**

**4.6.9.1** La cantidad máxima permitida de emisión lumínica hacia los cielos nocturnos, medida en el efluente de la fuente emisora, será la siguiente:

<b>Flujo luminoso de la fuente</b>	<b>Límite de FHS</b>
Flujo luminoso > 15.000 lúmenes	FHS ≤ 0,8 % del flujo luminoso nominal
9.000 lúmenes < Flujo luminoso ≤ 15.000 lúmenes	FHS ≤ 1,8 % del flujo luminoso nominal
Flujo luminoso ≤ 9.000 lúmenes	FHS ≤ 5,0 % del flujo luminoso nominal

FHS= Flujo hemisférico superior

(Adaptado de la Norma Chilena de emisión para la regulación de la contaminación lumínica D.S 686 de 1998)

**4.6.9.2** El alumbrado de instalaciones deportivas o recreativas, letreros y avisos comerciales, no se someterá a lo establecido en el cuadro anterior en las horas de la noche hasta las 01, pero sí en las siguientes horas de la madrugada.

**4.6.9.3** En los programas de modernización de alumbrado público se debe contemplar el reemplazo de aquellas instalaciones que producen contaminación lumínica.

Se excluyen del ámbito de aplicación del presente numeral los siguientes sistemas de iluminación:

- Puertos y aeropuertos e instalaciones vinculadas a vías férreas.
- Instalaciones y dispositivos de señalización de las costas marítimas.
- Instalaciones de las Fuerzas Armadas y de cuerpos de seguridad.
- Vehículos motorizados.
- En general, en aquellas infraestructuras que comprometan la seguridad de los ciudadanos, el diseñador deberá documentar la justificación para apartarse del cumplimiento de estos requisitos.

#### **4.6.10 Manejo ambiental en los sistemas de alumbrado público**

**4.6.10.1** Los proyectos de alumbrado público deben tener en cuenta las reglamentaciones ambientales vigentes y demás disposiciones emitidas por la autoridad ambiental.

**4.6.10.2** Merece especial atención la disposición final de fuentes luminosas con contenidos de sustancias contaminantes, las cuales deben atender los lineamientos de la autoridad ambiental y de lo que se especifica en las NTE INEN correspondientes.

## **4.7 Ahorro de energía en el alumbrado público**

### **4.7.1 Consideraciones generales**

**4.7.1.1** En lugares donde los requerimientos de nivel de iluminación permitan variaciones de los niveles lumínicos durante ciertas horas de la noche, de tal manera que se pueda reducir dichos niveles lumínicos a valores tales que sigan garantizando la seguridad vial y peatonal de los usuarios, se podrán instalar equipos de ahorro de energía cuyo principio de funcionamiento se base en la disminución de la potencia de las lámparas y en ningún caso se aceptará métodos que involucren el apagado de las mismas. La determinación de los lugares apropiados para implementar los sistemas de ahorro de energía mediante la disminución de la potencia de las lámparas, se hará en base a un análisis de la densidad de tráfico vehicular de la vía en las horas nocturnas y de las consideraciones de seguridad peatonal de la zona.

**4.7.1.2** La instalación de un sistema de ahorro de energía en el alumbrado público deberá respetar las siguientes premisas:

- a) Mantener el valor de uniformidad de luminancia e iluminancia.
- b) Mantener el nivel de iluminación en los cruces e intercambiadores.
- c) Alcanzar el nivel de luminancia e iluminancia que brinde seguridad, tanto a los conductores como a los peatones, así como que permita la prevención de actos de vandalismo, especialmente en áreas pobladas.
- d) El equipo o los equipos que conformen el sistema de ahorro de energía, no deberán perjudicar la vida útil de la lámpara ni la de los equipos auxiliares asociados.

### **4.7.2 Tipos de sistemas**

**4.7.2.1** Los sistemas a utilizar, dependiendo de las características de la red de alumbrado público, podrán ser:

#### **a) Sistema central**

En este tipo de sistema, el equipo de ahorro de energía se instala en la cabecera de la línea a fin de controlar y estabilizar el voltaje de alimentación de todas las luminarias conectadas a ella. Al conectarse el sistema, el equipo de ahorro suministra el voltaje nominal a la línea permitiendo el encendido a plena potencia de las lámparas. Transcurridas las horas de máximo flujo vehicular, el equipo de ahorro, mediante una programación horaria o señal externa, reduce de manera gradual el voltaje de línea con lo cual se obtiene una disminución de la potencia de todas las lámparas del circuito al cual está conectado el equipo, con el consiguiente ahorro de energía. Es importante que dicha disminución del voltaje se haga en forma gradual a efectos de que ninguna lámpara se apague durante este ciclo de funcionamiento.

El equipo de ahorro de energía apropiado para implementar el sistema central, es el denominado estabilizador-reductor de flujo lumínico.

#### **b) Sistema Individual**

En este sistema, el equipo de ahorro de energía es instalado dentro de cada luminaria, y su operación se basa en la acción de un temporizador electrónico o de una señal externa que da la orden para variar, dependiendo del principio de operación del equipo de ahorro de energía, el voltaje de alimentación del conjunto balastro-lámpara o la corriente de la lámpara; obteniendo de esa manera la reducción de la potencia de la lámpara.

Dependiendo de su principio de operación, los equipos de ahorro de energía para sistemas individuales pueden ser:

- 1) *Temporizador ahorrador de energía para lámparas de descarga (HID)*. Es un dispositivo electrónico que varía el voltaje de alimentación del conjunto balastro-lámpara y que dispone de un temporizador electrónico interno que, luego de un tiempo prefijado, envía la señal al sistema de control que se encarga de realizar el recorte del voltaje de alimentación del conjunto balastro-lámpara, variando de esa manera la tensión eficaz de entrada y como consecuencia de ello se reduce la potencia de la lámpara.
- 2) *Reactor auxiliar*. Es una reactancia adicional, la cual es intercalada en serie con el balastro. En este caso, el equipo completo de ahorro de energía dispone de un temporizador electrónico interno que comanda un relé que se encarga de conectar el reactor auxiliar después de un tiempo prefijado; con lo cual se aumenta la impedancia del circuito, logrando de esta manera obtener una disminución de la corriente que circula por la lámpara y por ende la reducción de la potencia de la misma.
- 3) *Balastro de doble nivel de potencia*. Es un balastro especial con un devanado adicional que por sí solo no constituye el equipo de ahorro de energía, sino que debe ser complementado con un conmutador de potencia el cual posee un temporizador interno que acciona un relé que conecta el devanado adicional del propio balastro después de un tiempo prefijado, con lo cual también se aumenta la impedancia del circuito, disminuyendo la corriente que circula por la lámpara con la consecuente reducción de la potencia de la misma.

#### **4.7.3** *Requisitos técnicos de los equipos*

**4.7.3.1** Existen ciertos requisitos técnicos básicos que deberán cumplir cualquiera de los equipos de ahorro de energía enunciados en el punto anterior. Estos requisitos son:

- Reducción de la potencia de las lámparas de sodio alta presión en un rango máximo de 30 % al 40%, con lo cual se garantiza el funcionamiento de la lámpara sin degradar su vida útil (ver nota 13).
- El arranque de la lámpara siempre deberá producirse en el modo de funcionamiento normal, no en el de potencia reducida, caso contrario pueden llegar a dañarse las lámparas acortando su vida útil.
- La reducción de potencia debe realizarse de tal manera que no se produzca el apagado de la lámpara.
- Ante una eventual caída de voltaje o microcorte en la línea de alimentación, el equipo debe permitir la correcta operación del ignitor para producir el encendido de las lámparas.
- El equipo debe poseer un sistema de reserva de memoria ante casos de interrupción de energía, de tal manera que le permita mantener inalterable los tiempos prefijados de su ciclo de funcionamiento nominal y de potencia reducida, garantizando con ello que siempre se tendrá el tiempo de ahorro requerido. Caso contrario de no contar con un sistema de reserva de memoria, el contador del temporizador volvería a cero; lo cual sería crítico sobre todo cuando la interrupción de energía se produzca durante el ciclo de ahorro.

## **5. INSPECCIÓN**

### **5.1 Muestreo**

**5.1.1 Selección de la muestra.** Para la selección de la muestra y los procedimientos para la inspección, se aplicarán los criterios que se señalan en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 2859-1 vigente.

## 6. ENSAYOS PARA EVALUAR LA CONFORMIDAD

**6.1** Los ensayos para evaluar la conformidad son los establecidos en el presente Reglamento Técnico Ecuatoriano, en sus numerales aplicables.

## 7. DOCUMENTOS NORMATIVOS CONSULTADOS O DE REFERENCIA

**7.1** Norma Técnica IEC. 60064 *Lámparas de filamento de tungsteno para uso general.*

**7.2** Norma Técnica IEC. 60432 *Prescripciones de seguridad para las lámparas de filamento de tungsteno, para uso doméstico e iluminación general.*

NOTA 13. La aplicación de equipos de ahorro de energía para lámparas de mercurio halogenado no es considerada ya que la mayoría de estas lámparas no admiten reducción de potencia sin que se produzca una variación irreversible de su color.

**7.3** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 329 *Lámparas incandescentes de filamento de tungsteno para alumbrado general*

**7.4** Norma Técnica IEC 60529. *Degree of protection by enclosures [IP Code].*

**7.5** Norma Técnica IEC 60598 1-2-3. *Luminaires for road and street lighting. Particular requirements.*

**7.6** Norma Técnica EN 50102. *Grados de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos (código IK).*

## 8. DEMOSTRACIÓN DEL CUMPLIMIENTO CON EL REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO

**8.1** Los productos a los que se refiere este Reglamento Técnico Ecuatoriano deben cumplir con lo dispuesto en este documento y con las demás disposiciones establecidas en otras leyes y reglamentos vigentes aplicables a estos productos.

**8.2** La demostración de la conformidad con el presente Reglamento Técnico Ecuatoriano debe realizarse mediante la presentación de un certificado de conformidad, de acuerdo con lo que establece la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad.

## 9. ORGANISMOS ENCARGADOS DE LA EVALUACIÓN Y LA CERTIFICACIÓN DE LA CONFORMIDAD

**9.1** La evaluación de la conformidad y la certificación de la conformidad exigida en el presente Reglamento Técnico Ecuatoriano debe ser realizada por entidades debidamente acreditadas o designadas, de acuerdo con lo que se establece en la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad.

## 10. AUTORIDAD DE FISCALIZACIÓN Y/O SUPERVISIÓN

**10.1** Las instituciones del estado que en función de sus leyes constitutivas tengan facultades de fiscalización y supervisión, son las autoridades competentes para efectuar las labores de vigilancia y control del cumplimiento de los requisitos del presente Reglamento Técnico Ecuatoriano, de acuerdo con lo que establece la Ley Orgánica de Defensa del Consumidor y la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad.

## 11. TIPO DE FISCALIZACIÓN Y/O SUPERVISIÓN

**11.1** La fiscalización y/o supervisión del cumplimiento del presente Reglamento Técnico Ecuatoriano lo realizarán los organismos especializados competentes, en los locales comerciales de distribución y/o expendio de estos productos, sin previo aviso.

## 12. RÉGIMEN DE SANCIONES

**12.1** Los proveedores de estos productos que incumplan con lo establecido en este Reglamento Técnico Ecuatoriano recibirán las sanciones previstas en la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad y demás leyes vigentes, según el riesgo que implique para los usuarios y la gravedad del incumplimiento.

## 13. RESPONSABILIDAD DE LOS ORGANISMOS DE EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

**13.1** Los organismos de certificación, laboratorios o demás instancias que hayan extendido certificados de conformidad o informes de laboratorio erróneos o que hayan adulterado deliberadamente los datos de los ensayos de laboratorio o de los certificados, tendrán responsabilidad administrativa, civil, penal y/o fiscal de acuerdo con lo que establece en la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad y demás leyes vigentes.

## 14. REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL REGLAMENTO TÉCNICO

**14.1** Con el fin de mantener actualizadas las disposiciones de este Reglamento Técnico Ecuatoriano, el Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, lo revisará en un plazo no mayor a cinco (5) años contados a partir de la fecha de su entrada en vigencia, para incorporar avances tecnológicos o requisitos adicionales de seguridad para la protección de la salud, la vida y el ambiente, de conformidad con lo establecido en la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad.

**ARTÍCULO 2.-** Disponer al Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, que de conformidad con el Acuerdo Ministerial No. 11 256 del 15 de julio de 2011, publicado en el Registro Oficial No. 499 del 26 de julio de 2011, publique el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO” en la página web de esa institución, ([www.inen.gob.ec](http://www.inen.gob.ec)).

**ARTÍCULO 3.-** El presente reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 reemplaza al CPE INEN 014:1987 y entrará en vigencia transcurridos ciento ochenta días calendario desde la fecha de su promulgación en el Registro Oficial.

COMUNÍQUESE Y PUBLÍQUESE en el Registro Oficial.

Dado en Quito, Distrito Metropolitano, 30 de abril de 2013.

**Mgs. Ana Elizabeth Cox Vásconez**  
**SUBSECRETARIA DE LA CALIDAD**