

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

**CAPITULO 5
ALUMBRADO PÚBLICO E ILUMINACIÓN EXTERIOR****SECCIÓN 500 REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO DE ALUMBRADO PÚBLICO.**

Adicional a los requerimientos específicos, el alumbrado público debe cumplir los principios generales de iluminación que el apliquen, establecidos en el capítulo II 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 del andén, 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 este 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 sobretudo 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 sólo 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

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

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** U_L . 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. 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

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

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 530.3.6 del presente reglamento.

f) Evaluación económica y financiera: Todos los proyectos de alumbrado público deberán 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.

SECCIÓN 510 CONSIDERACIONES TÉCNICAS DEL DISEÑO DEL ALUMBRADO PÚBLICO.**510.1 CLASES DE ILUMINACIÓN SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS VÍAS.****510.1.1 VÍAS VEHICULARES.**

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 510.1.1 a.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

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

Tabla 510.1.1 a. Clases de iluminación para vías vehiculares.

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 510.1.1 a., utilizando la Tabla 510.1.1 b.

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 510.1.1 b. adaptada de la tabla 1 de la NTC 900.

Descripción de la vía	Tipo de iluminación
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 ⁽¹⁾ :	
Alta T>1000(Veh./h)	M1
Media 500< T<1000 (Veh. /h)	M2
Baja T< 500 (Veh. /h)	M3
Vías de extra alta velocidad, vías con doble sentido de circulación. Con control de tráfico ⁽²⁾ y separación ⁽³⁾ de diferentes usuarios de la vía:	
Escaso	M1
Suficiente	M2
Vías más importantes de tráfico urbano, vías circunvalares y distribuidoras. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía:	
Escaso	M2
Bueno	M3
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:	
Escaso	M4
Bueno	M5

Tabla 510. 1.1 b. variación en las Clases de iluminación por tipo de vía, complejidad de circulación y control del tráfico

Notas:

- 1) La **complejidad** de la vía se refiere a su infraestructura, movimiento de tráfico y alrededores visuales. 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.
- 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.
- 3) **La separación** puede ser por medio de carriles específicos o por normas que regulan la restricción

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

para uno o varios de los tipos de tráfico. El menor grado se recomienda cuando existe esta separación.

- 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.

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.).

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.

510.1.2 VÍAS PARA TRÁFICO PEATONAL Y CICLISTAS.

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 510.1.2. se presentan las siete clases de iluminación para diferentes tipos de vías en áreas peatonales.

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

Tabla 510.1.2. Clases de iluminación para diferentes tipos de vías en áreas peatonales y de ciclistas

NOTA El prestigio se relaciona con la necesidad de producir un ambiente atractivo. Para las demás clases de iluminación, P2 a P7, la graduación se relaciona con el uso por parte de los peatones. Las clases P5 a P7 sólo deben usarse donde sea baja la probabilidad de realización de delitos en ausencia de luz.

Las clases de alumbrado establecidas en la Tabla 510.1.2., consideran las necesidades asociadas a toda la superficie utilizada, es decir, la superficie de la acera y de la calzada, en caso que exista.

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.

510.2 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

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

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 POT 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 deberán 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.

510.2.1 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 510.2.1 a. para luminancia, cuando este es el criterio aplicado. Los valores son para piso seco.

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_l Mínimo	Relación de alrededores SR Mínimo
M1	2,0	0,4	10	0,5	0,5
M2	1,5	0,4	10	0,5	0,5
M3	1,2	0,4	10	0,5	0,5
M4	0,8	0,4	15	N.R	N.R
M5	0,6	0,4	15	N.R	N.R

Tabla 510.2.1.a. Requisitos fotométricos mantenidos por clase de iluminación para tráfico motorizado con base en la luminancia de la calzada

NR: No requerido

Se podrán hacer diseños con base en criterio de iluminancia para las vías consideradas en la tabla 510.2.1 b.

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} (%)
M3	12	17	15	34%
M4	8	12	10	25%
M5	6	9	8	18%

Tabla 510.2.1 b. Valores mínimos mantenidos de iluminancias promedio (lx) en vías motorizadas

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

NOTA La **NTC-900** no contempla el índice **G** como elemento determinante del deslumbramiento de incomodidad argumentando incertidumbre en su cálculo y deficiencias en su aplicación práctica. La publicación CIE-115 tampoco contempla su uso y la publicación IES RP-8 sólo contempla el uso de L_{velo} .

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.

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 (F_M).

510.2.2 REQUISITOS DE ILUMINACIÓN PARA VÍAS PEATONALES Y DE CICLISTAS.

En la Tabla 510.2.2 se asocian, a las clases de iluminación los valores de iluminancia que se deben satisfacer en los distintos tipos de vías peatonales.

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

Tabla 510.2.2 Requisitos mínimos de iluminación para tráfico peatonal

Fuente: NTC 900 Tabla 4

510.2.3 REQUISITOS DE ILUMINACIÓN PARA ÁREAS CRÍTICAS.

La Tabla 510.2.3 a. establece los requisitos fotométricos para las denominadas áreas críticas, valores adoptados de la Norma CIE 115.

Clase de iluminación	Iluminancia Mínima Mantenido (luxes) (Sobre toda la superficie)	Uniformidad general $U_o \geq$ (%)
C0	50	40
C1	30	40
C2	20	40
C3	15	40
C4	10	40
C5	7.5	40

Tabla 510.2.3 a. Requisitos fotométricos para áreas críticas

Fuente: Norma CIE 115-1995 Tabla 8.1. Lighting requirement for conflict areas.

En áreas críticas que pertenezcan a vías vehiculares se deberán aplicar los criterios y clases de iluminación según la tabla 510.2.3 b.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

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

Tabla 510. 2. 3 b. Clases de iluminación en áreas críticas de vías vehiculares.

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

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**.

510.3 NIVELES EXIGIDOS DE LUMINANCIA E ILUMINANCIA EN ALUMBRADO PÚBLICO.

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 510.3 a .y 510.3 b. El diseño de iluminación debe considerar no solamente las calzadas vehiculares, sino las ciclorutas y los andenes adyacentes, como componente del espacio público

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

Tabla 510.3 a. Requisitos mínimos de iluminación para vías con ciclorutas y andenes adyacentes

Adaptado de norma CIE 115 y NOM 001 SEDE

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

L_{prom} es la luminancia promedio mínima mantenida. L_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 V_6

Clasificación	Clase de iluminación	Iluminancia promedio (luxes)	Uniformidad general $U_o \geq \%$
Canchas múltiples recreativas	C0	50	40
Plazas y plazoletas	C1	30	33
Pasos peatonales subterráneos	C1	30	33
Puentes peatonales	C2	20	33
Zonas peatonales bajas y alledañas a puentes peatonales y vehiculares	C2	20	33
Andenes, senderos, paseos y alamedas peatonales en parques	C3	15	33
Ciclo-rutas en parques	C2	20	40
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	C4	10	40

Tabla 510.3 b. Fotometría mínima en áreas críticas distintas a vías vehiculares.

510.4 GUÍAS DE VISIBILIDAD EN VÍAS DE VELOCIDADES ELEVADAS.

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. 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.

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.

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 Manual de Señalización Vial de INVIAS. Muchas de ellas son en pinturas claras o reflectivas, en alto relieve o en colores de alto contraste (amarillo y negro). El Manual de Señalización Vial de INVIAS establece señalización vertical, señalización horizontal y señales de guía, delineadores de piso, especificación técnica de construcción de señales, capta faros (ojos de gato).

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

510.5 LOCALIZACIÓN DE LUMINARIAS.

Al iniciar un diseño de iluminación es necesario conocer las disposiciones que tiene el municipio que 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.

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 AT, MT (en donde se deberán cumplir las normas de distancias mínimas de seguridad establecidas en el RETIE y zonas de servidumbres), líneas férreas, mobiliario urbano, etc.

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 primara sobre la distancia de ubicación de los elementos del mobiliario urbano (árboles, sillas, canecas para basura, bolardos, cicloparqueos, etc.).

Las interdistancias sólo 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 buscar obtener interdistancias más elevadas mediante la utilización secuencial de las siguientes alternativas:

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

510.5.1 CONFIGURACIONES BÁSICAS DE LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE ILUMINACIÓN.

Conocidas las características de las vías y las propiedades fotométricas de las luminarias, el diseñador deberá aplicar la configuración que mejor resuelva los requerimientos de iluminación, podrá tener en cuenta la recomendación de la siguiente tabla tomada de la NTC 900

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	

Tabla 510.5.1 Recomendación para disposición de luminarias.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

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 las ciclo-rutas, 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 la ciclo-ruta.

a) 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.

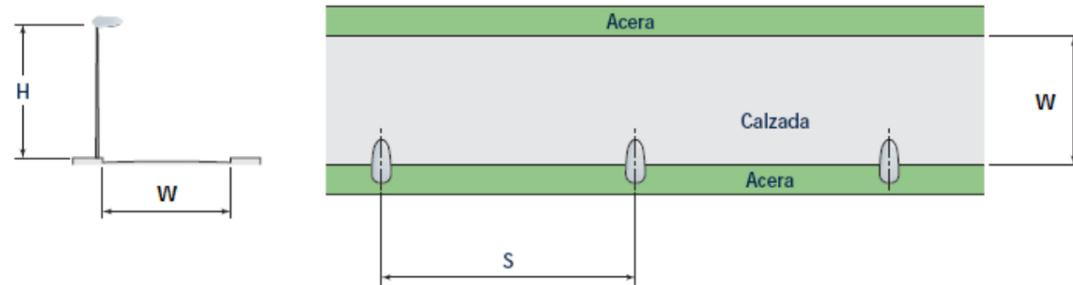


Figura 510.5.1 a. Disposición Unilateral

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

b) Central doble: Donde los carriles de circulación en una dirección y otra se encuentran separados por un pequeño separador 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.

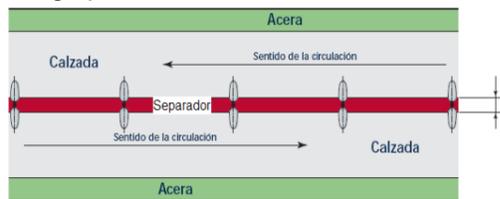


Figura 510.5.1 b. Disposición Central doble (para $1,5 \text{ m} \geq b \leq 4 \text{ m}$)

c) 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 ó 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 la presente norma 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 510.5.1 c. Disposición Bilateral alternada

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

d) Bilateral opuesta sin separador

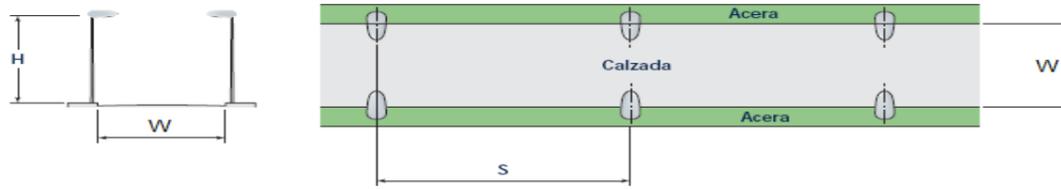


Figura 510.5.1 d. Disposición Bilateral opuesta

e) Bilateral opuesta con separador.

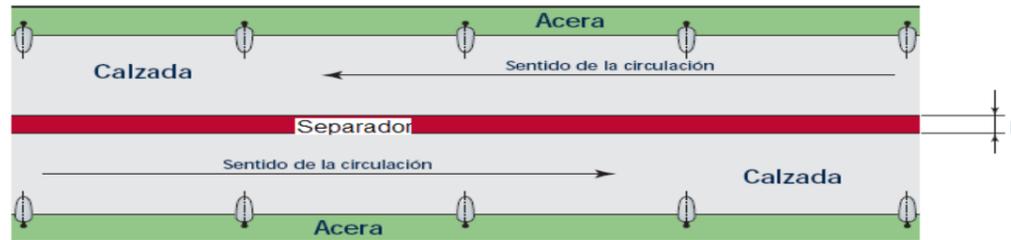


Figura 510.6.1 e. Disposición Bilateral opuesta con separador (para cualquier valor de b)

Cuando la vía presenta un ancho W muy superior a la altura de montaje h_m de las luminarias ($1,25 < (W/h_m) < 1,75$), se recomienda utilizar luminarias clasificadas como **Tipo III** de la **IESNA** ó 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.

f) Otras combinaciones:

En vías compuestas de cuatro (4) o mas calzadas de circulación y que incluye separadores, generalmente 2 ó 3, se utilizan combinaciones de distribución de luminarias. Las mas comunes son: **Doble central doble**, en la cual cada dos calzadas se iluminan con disposición central sencilla, como aparece en la Figura 510.5.1 F). 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

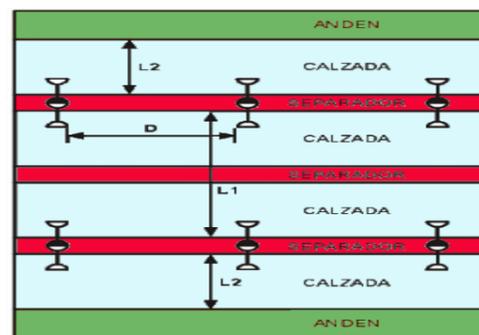


Figura 510.5.1 f. Disposición Doble central doble

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.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

510.5.2 CASOS ESPECIALES DE DISPOSICIÓN DE LUMINARIAS.

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) 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).

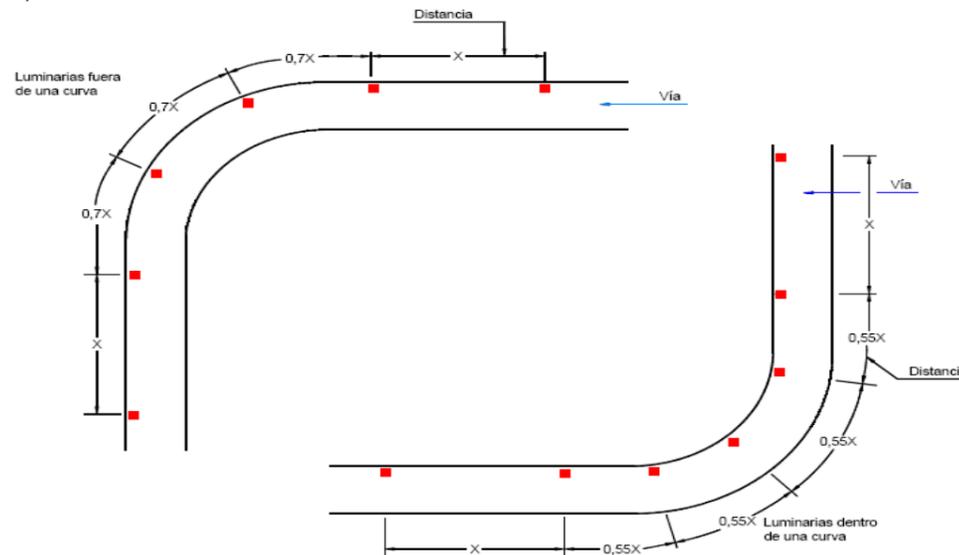


Figura 510.5.2 a. Disposición de luminarias en trayectos curvos

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 el andén exterior de las curvas, con el fin de mantener una guía visual más estable, se deben usar distribuciones de luminarias del tipo unilateral ó 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.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

b) 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 θ . 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 510.5.2 b.

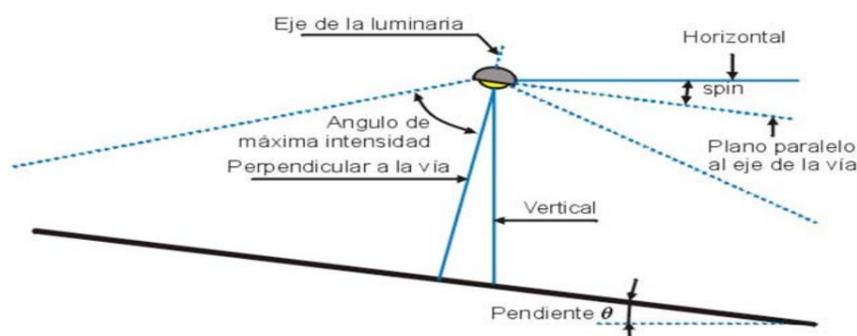


Figura 510.5. 2 b. Disposición de luminarias en calzada con pendiente

Los postes, en estos trayectos en pendiente, deberán 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.

510.6 USO RACIONAL DE ENERGÍA EN ALUMBRADO PÚBLICO.

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.

510.6.1 MÁXIMA DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA PARA ALUMBRADO DE VÍAS.

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 510.6.1 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.

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:

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

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

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.

Nivel mantenido de iluminancia promedio	DENSIDAD DE POTENCIA (w/m^2) según ancho de la calzada (m)					
	lux (lx)	< 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

Tabla 510. 6.1 valores máximos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) para vías vehiculares (W/m^2) Adaptación de la Norma Oficial Mexicana NOM-13-ENER-2004 (Reglamento Técnico)

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

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

P= potencia en W.

L= Luminancia mantenida. en Cd/m^2

S= Área en m^2

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 deberá 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 deberá incluir las pérdidas asociadas al conjunto eléctrico de la luminaria, si esta lo requiere para su normal funcionamiento.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

La vigilancia del cumplimiento de los valores permitidos de DPEA corresponderá a la interventoría 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 bombillas (fuentes luminosas) usadas no podrá ser inferior a 70 lm/W.

510.7 COEXISTENCIA DE LAS LUMINARIAS CON LOS ÁRBOLES EN LAS VÍAS.

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, los andenes, la iluminación y demás elementos del mobiliario urbano.

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.

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.

Debe tenerse en cuenta que no es necesario podar los árboles mas allá de las ramas que interfieran con el haz luminoso útil (Véase la figura 510.7.) ya que el follaje restante permite mejorar el apantallamiento de la instalación y por ende, mejora la visibilidad de obstáculos por efecto silueta

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.

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.

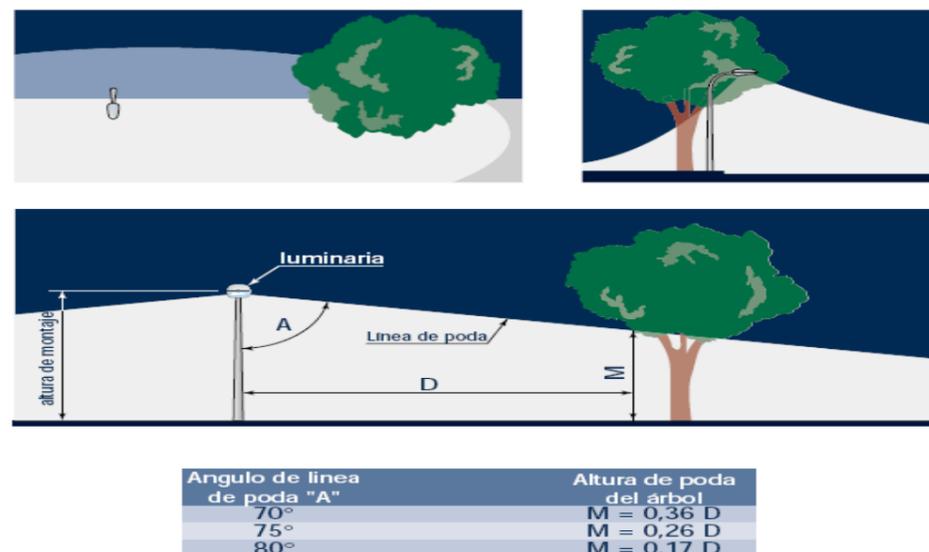


Figura 510.7 Separación mínima entre los árboles y los postes con las luminarias de alumbrado público, para evitar sombras sobre la vía.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

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.

SECCIÓN 520 DISEÑOS FOTOMÉTRICOS.**520.1 CRITERIOS DE DISEÑO.**

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) 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.
- b) 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 amoblamiento, modulación arquitectónica, accidentes geográficos, restricciones por la interferencia con líneas eléctricas de alta tensión, 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.
- c) 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.
- d) 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 deberán realizar para cada tipo de perfil de vía y en las zonas críticas. En caso de presentarse modificaciones posteriores, se deberá indicar la versión y la fecha de actualización.

- e) 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 andenes, calzadas, ciclo rutas, etc.), interdistancias, inclinación, posición de bombilla 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, anexar la matriz de intensidades certificada con la cual se realizan los cálculos, se debe indicar la posición (reglaje) de la bombilla 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 deberá usar en las labores de construcción, interventoría e inspección por parte de los organismos acreditados.

- f) 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, andenes 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 deberá demostrarse y soportarse con cálculos fotométricos o con mediciones de campo. Así mismo, no se deberán proyectar luminarias hacia los andenes en sistema doble o doble

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

propósito, cuando éstos sean de ancho igual o inferior a 3 m o se presente interferencia con edificaciones, árboles, etc.

- g) Cuando exista o se proyecten vías con separadores con un ancho mayor o igual a 1,5 metros, deberá 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 los andenes, garantizando el cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad de los postes al sardinel, que debe ser de 0,6 m.

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

- h) 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.
- i) 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 deberá 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, arquitectos, sociales y económicos (costos iniciales, de operación: mantenimiento y consumo de energía y de reposición), 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.
- j) Para poder tener referentes de comparación entre las distintas propuestas, el diseñador debe realizar la evaluación y comparación técnica y económica para una vida útil de 30 años, comparando al menos tres alternativas de los equipos de iluminación
- k) Para la comparación el diseñador debe establecer las cantidades definitivas totales de obra civil (cajas de inspección, canalizaciones, etc.) y eléctrica (postes, bombillas, luminarias, conductores, empalmes, etc.) asociadas exclusivamente al proyecto de alumbrado público, tomando precios de referencia establecidos por la CREG en la metodología de costos máximos del servicio de alumbrado público o los del mercado cuando estos sean menores.

El valor de las luminarias deberá corresponder con el precio ofertado y las consideraciones sobre ajuste si existen para el periodo de evaluación, y estará soportado con el compromiso de suministro por parte del comercializador o fabricante.

Además de los costos iniciales de materiales, equipos y mano de obra, la evaluación debe contemplar los costos anuales de operación (mantenimiento y consumo de energía eléctrica, incluyendo las pérdidas) y el valor de salvamento de la infraestructura en el horizonte analizado.

Para efectos de trazabilidad del proyecto se deberá dejar memoria, sobre las reuniones de carácter interinstitucional realizadas para definir criterios y lineamientos específicos para los estudios y diseños fotométricos.

Los proyectos Tipo A y Tipo B, pueden presentar una sola alternativa, la cual no podrá contener costos por encima de los valores determinados en la metodología expedida por la CREG.

520.2 USO DE SOFTWARE EN EL DISEÑO FOTOMÉTRICO DE ALUMBRADO PÚBLICO.

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, deberán 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 para el municipio, de acuerdo con lo establecido en el capítulo 6 del presente Reglamento Técnico.

Aunque el software especializado de iluminación no requiere de un certificado de conformidad de

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

producto, si debe cumplir con los siguientes requisitos para que pueda ser tenido en cuenta en la presentación de resultados de diseños fotométricos:

Debe tener un reporte de validación de pruebas de sus resultados, expedido por un organismo o laboratorio de iluminación acreditado, nacional o internacional.

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.

El software para el diseño de alumbrado público debe utilizar en sus rutinas de cálculo la metodología de la norma CIE 140 o de las planteadas en el presente reglamento.

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.

El software deberá obtener los resultados en forma numérica de: Luminancia media, Uniformidad, iluminancia mínima y media, TI, Uniformidad longitudinal. Igualmente podrá contar con módulo gráfico y de simulaciones para las condiciones de día y con el proyecto de iluminación en la noche.

El software debe permitir la identificación y medidas de las mallas de cálculo, así como las posiciones del observador.

SECCIÓN 530 CÁLCULOS DE ILUMINANCIA PARA ALUMBRADO PÚBLICO.

Para iniciar un cálculo lumínico destinado a alumbrado público, se deberán 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. 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:

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 la luminaria suministrados por los fabricantes o comercializadores.

530.1. ILUMINANCIA EN UN PUNTO.

La metodología parte de la fórmula dada para la Ley del coseno que aplicada a la geometría del sistema dada en la Figura 530.1. permite obtener un valor para la Iluminancia horizontal en el punto. Donde h_m es la altura de montaje de la luminaria, γ es el ángulo de incidencia del haz de luz o candelas representado por I_a en la dirección al punto P. El diseñador deberá obtener el valor de I_a a partir de la matriz de intensidades y la geometría del sistema.

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.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

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 metro y flujo luminoso de la bombilla de 1.000 lúmenes. La curva Isolux puede tener cualquier escala horizontal en mm/m.

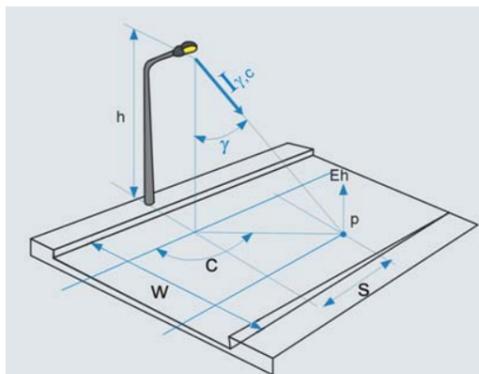


Figura 530.1. Parámetros para calcular la iluminancia en el punto P.

$$E_p = \sum^n \frac{I_{\gamma,c}}{h_m^2} \cos^3 \gamma$$

Donde:

$I_{\gamma,c}$: Intensidad luminosa en dirección del punto P, determinada por los ángulos γ y C.

γ : Ángulo vertical sobre el plano C considerado

h_m : Altura de montaje de la luminaria.

n : Número de luminarias.

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:

$$E_{\text{máx}} = \frac{\Phi}{h_m^2} = (\text{Flujo de la bombilla utilizada}) / (h_m^2)$$

Donde h_m = (Altura de montaje)

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 $n\Phi / h_m^2$, para obtener la iluminancia total sobre el punto en cuestión.

530.2 MÉTODOS DE CÁLCULO DE ILUMINANCIA PROMEDIO DE UNA VÍA.

Para los cálculos de iluminancia promedio de una vía se debe aplicar cualquiera de los siguientes métodos:

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

530.2.1 MÉTODO EUROPEO DE LOS 9 PUNTOS.

De acuerdo con el **método europeo** de los 9 puntos, que se usa para calcular la *Iluminancia promedio sobre la vía* en una instalación de *alumbrado público*, es necesario ubicar cada uno de estos puntos de cálculo sobre la porción típica de la vía considerada, definiendo un rectángulo de área largo ($s/2$) por ancho (w). De este modo, tal rectángulo se divide en cuatro partes, dos longitudinales y dos transversales, de modo que los puntos a considerar son cada uno de los vértices de los nuevos rectángulos generados. Así se obtienen los 9 puntos considerados en el método. (Véase la Figura 530.2.1 a.)

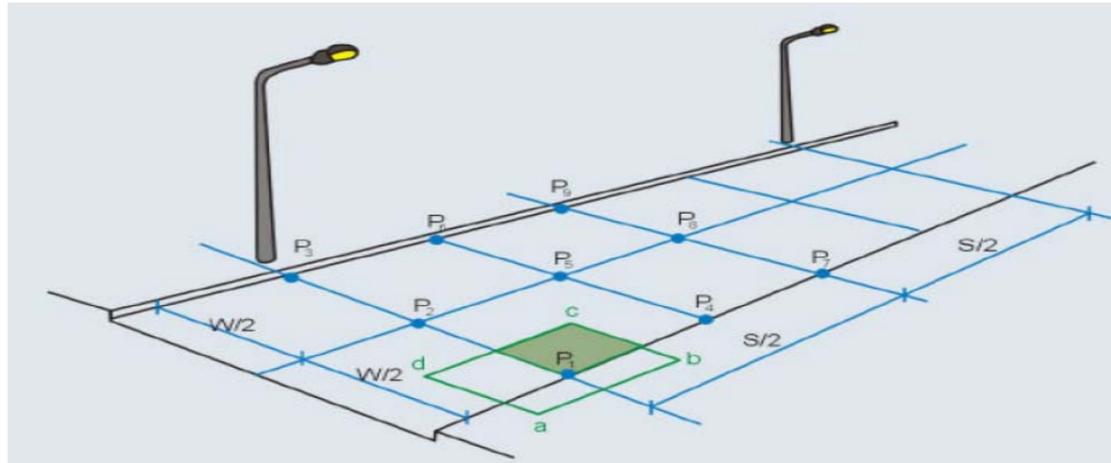


Figura 530.2.1 a. Cálculo de la iluminancia promedio método europeo de los 9 puntos.

Se considera la iluminancia en cada punto de medida como la que corresponde a un rectángulo de dimensiones $(w/2) * (s/2)$. La iluminancia promedio sobre la vía se calcula teniendo en cuenta la contribución de iluminancia de cada punto a la porción típica de vía. Así, los puntos extremos tienen una contribución de 0,25; los puntos intermedios de 0,5 y el punto central de 1.0. Así, la iluminancia E_1 leída en el punto P_1 corresponde al área a, b, c, d , pero tan sólo la cuarta parte de esa área corresponde a un área sobre la vía considerada (área sombreada). Igual sucede con la iluminación de los puntos P_3, P_7 y P_9 . Por tanto la contribución de esos puntos debe ser ponderada al 25%. Por idéntico razonamiento, los puntos P_2, P_4, P_6 y P_8 representan la iluminación de áreas que tan solo tienen el 50% sobre la vía, el punto P_5 , a diferencia de los demás, representa un área totalmente contenida en la vía por lo que su contribución al promedio es completa.

A partir de la lectura de la iluminación en los 9 puntos, la iluminación promedio sobre la vía se calcula con la fórmula siguiente:

$$E_{prom} = \frac{1}{16} [(E_1 + E_3 + E_7 + E_9) + 2 \times (E_2 + E_4 + E_6 + E_8) + 4 \times E_5]$$

Siendo $E_1, E_2 \dots E_9$ las iluminancias en los puntos $P_1, P_2 \dots P_9$ respectivamente.

La Figura 530.2.1 b. ayuda a ubicar los nueve puntos, para diferentes sistemas de alumbrado, de acuerdo con la distribución de los postes y la forma de la vía.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

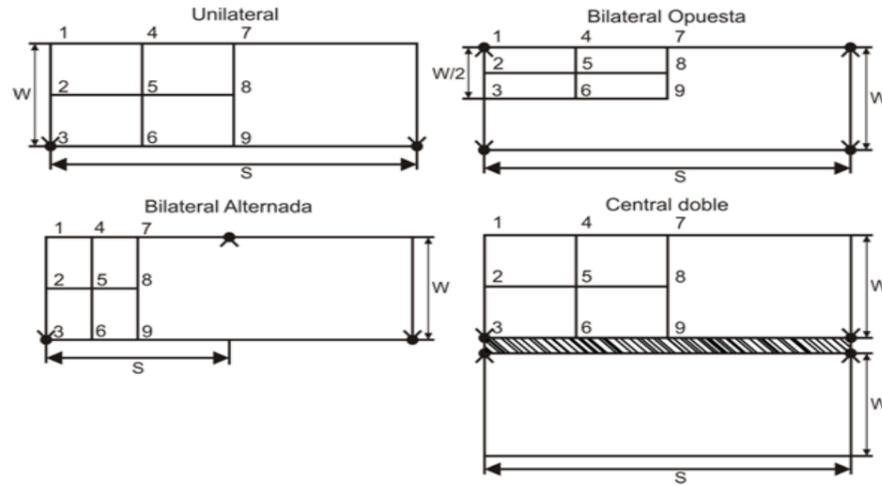


Figura 530.2.1 b. Selección de los 9 puntos según disposición de las luminarias.

530.2.2 MÉTODO DEL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN.

En el diseño de alumbrado público, uno de los documentos fotométricos que identifica una luminaria, es la curva del coeficiente de utilización K , el cual sirve para calcular, a partir del conocimiento de la geometría de la vía considerada y la disposición de las luminarias, la iluminancia media sobre la calzada.

En el proceso de diseño y a partir de una iluminancia media dada, puede usarse para calcular la interdistancia. Otra forma de aplicar esta curva, es calcular el flujo luminoso necesario para obtener una iluminancia dada, a partir de una interdistancia fija.

La fórmula general del cálculo es:

$$E_{prom} = \frac{\phi \times K_t \times F_M}{S \times W}$$

Donde:

E_{prom} = Iluminancia promedio sobre la calzada (lx).

ϕ = Flujo mantenido de la bombilla (lm).

K_t = Coeficiente de utilización del sistema total calculado (%).

F_M = Factor de mantenimiento.

S = Interdistancia de luminarias (m) Véase la Figura 530.2.1 b).

W = Ancho de vía (en m) Véase la Figura 530.2.2 a.

Las curvas de coeficiente de utilización k^9 expresan el porcentaje del flujo luminoso emitido por la luminaria y que cae sobre la superficie de la calzada, en función del ancho de la misma. Como punto de referencia, se toma la vertical de la luminaria. Véase la Figura 530.2.2 a.

Una luminaria de alumbrado público tiene dos curvas k . La primera, denominada k_1 , representa el flujo luminoso hacia el frente, hacia adelante, hacia la calzada. La segunda, denominada k_2 , representa el flujo luminoso hacia atrás, hacia las casas, hacia el andén. Véase la Figura 530.2.2 b.

⁹ Las curvas vienen dadas para una luminaria específica equipada con una bombilla determinada.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

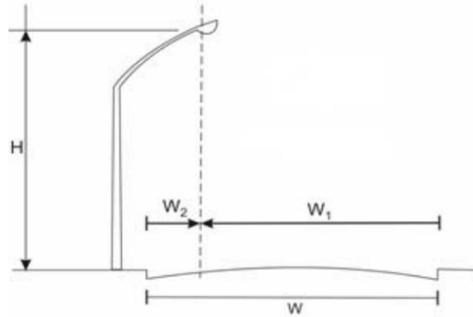


Figura 530.2.2 a. Determinación del Coeficiente de Utilización

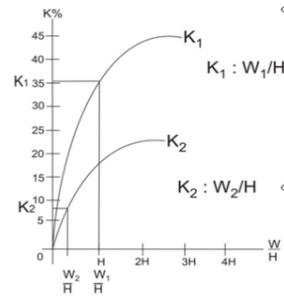


Figura 530.2.2 b. Curvas de coeficiente de Utilización

En la ordenada de la figura 530.2.2 b. se indica el valor del k en porcentaje y en la abscisa se indica el ancho de la calzada expresada en función de la altura de montaje H . Con el fin de facilitar su uso en diferentes esquemas de montaje.

Para calcular k_1 se calcula la relación W_1/H se ubica el valor en la abscisa de la figura 530.2.2 b y se sigue verticalmente hasta cortar la curva k_1 . En este punto, horizontalmente se lee el valor k_1 . Igual procedimiento se sigue para el cálculo de k_2 pero utilizando el valor W_2 y la curva k_2 .

Dependiendo de la disposición de las luminarias, se obtiene el coeficiente de utilización total de la luminaria K_T de acuerdo con las figuras que se muestran a continuación:

En Localización Unilateral la vertical de la luminaria coincide con el borde de la calzada.

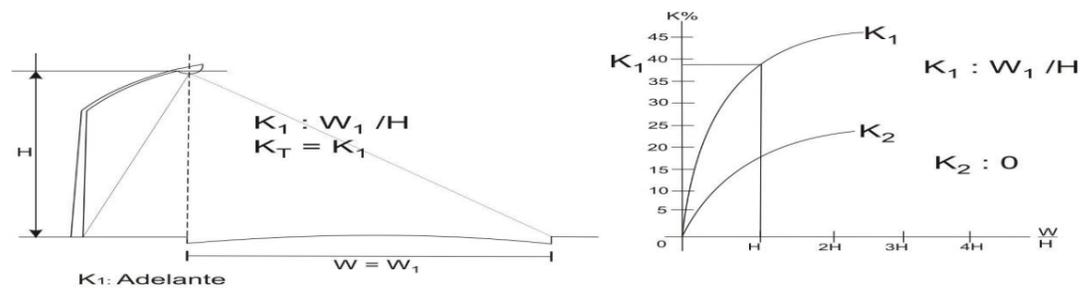


Figura 530.2.2 c. Localización unilateral de luminaria.

Cuando la luminaria está sobre la acera y avanza w_2 sobre la calzada,

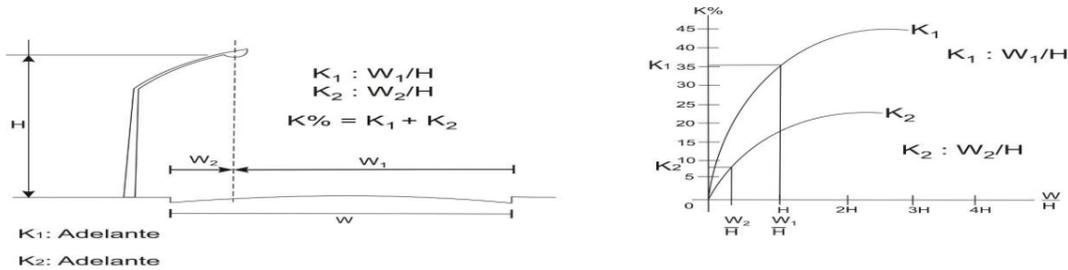


Figura 530.2.2 d. Luminaria sobre la calzada

La luminaria está sobre la acera, a w_2 de la calzada.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

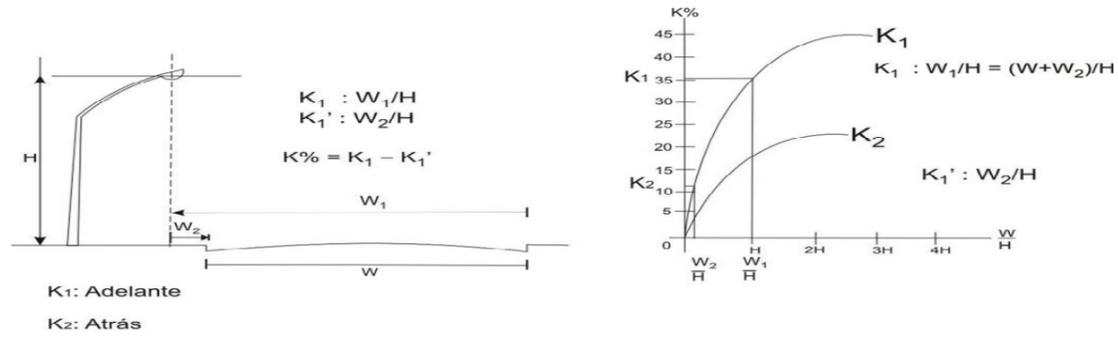


Figura 530.2.2 e. Luminaria sobre la acera

La luminaria ilumina la calzada con el flujo de atrás y está localizada a w_2 de la calzada.

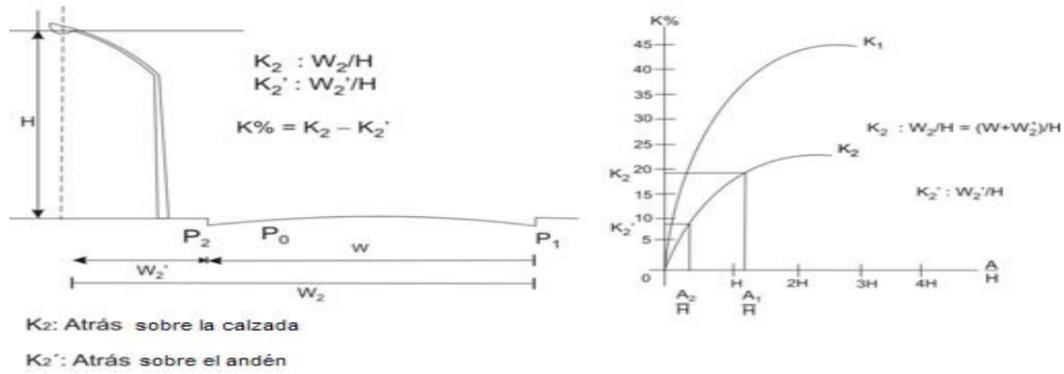


Figura 530.2.2 f. Luminaria ubicada tras la calzada y la acera.

Localización bilateral alternada (tres bolillos). Fig. 530.2.2 g. El cálculo es idéntico al cálculo de K en la localización unilateral. Suponiendo todas las luminarias localizadas del mismo lado, si los avances o retrocesos de las luminarias son diferentes de un lado con relación al otro, se deben efectuar dos cálculos y el coeficiente K, será la suma de los valores encontrados.

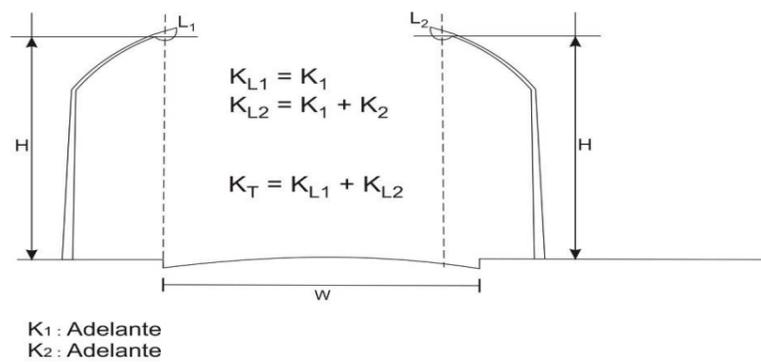


Figura 530.2.2 g Localización bilateral alternada (zig-zag ó tres bolillos)

Localización bilateral opuesta. El cálculo es idéntico al cálculo del coeficiente K en localización unilateral, para cada uno de los lados, con la misma observación hecha para el caso de la localización bilateral alternada, con relación a los avances y retrocesos de las luminarias.

Es evidente sin embargo, que el número de luminarias que se toma en consideración, es el doble con relación a la localización unilateral.

Localización central doble. En la figura 530.2.2 h. se calcula separadamente el coeficiente de utilización de cada luminaria siguiendo el procedimiento analizado en los casos mencionados anteriormente.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

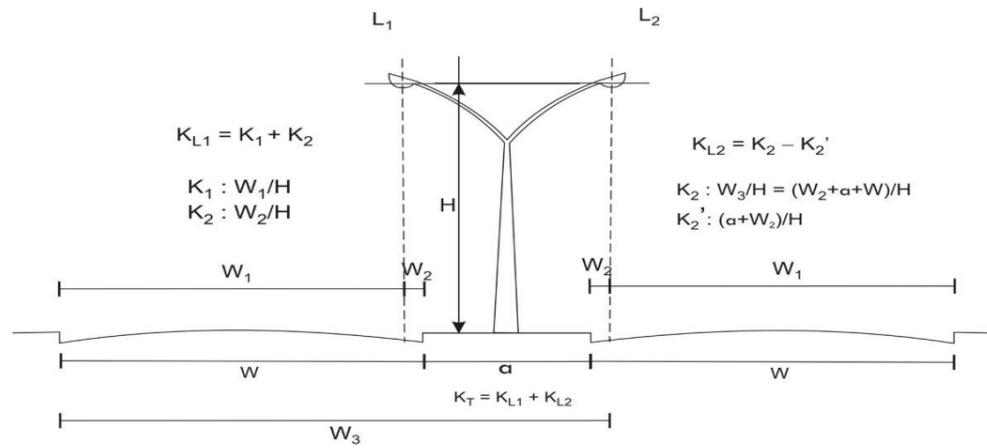


Figura 530.2.2 h. Localización central doble

530.3 CÁLCULOS COMPUTARIZADOS DE ILUMINANCIA.

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, pues los 9 del método europeo son un límite de aproximación.

La iluminancia horizontal en un punto se calcula a partir de la siguiente fórmula u otra matemáticamente equivalente:

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

En donde

- E_h = luminancia horizontal mantenida en el punto, en luxes. Indica la sumatoria de la contribución de todas las luminarias.
- $I(c, \gamma)$ = 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 bombilla o bombillas de la luminaria.
- FM = Factor de mantenimiento.

530.3.1 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 530.3.1 el área se limita por los bordes de las calzadas (incluidas ciclorrutas y zonas peatonales, si es aplicable) y por las líneas transversales a través de dos luminarias consecutivas.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

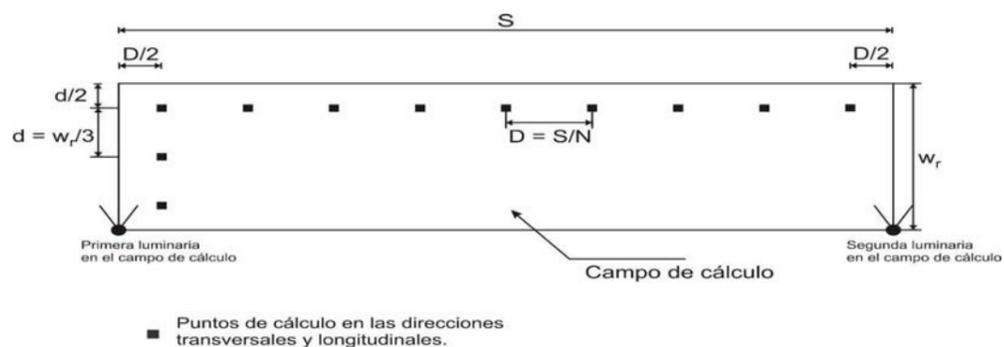


Figura 530.3.1. Puntos de cálculo para la iluminación

530.3.2 POSICIÓN DE LOS PUNTOS DE CÁLCULO.

Los puntos de cálculo se deben espaciar uniformemente en el campo de cálculo (véase la figura 530.3.1) y su número se debe escoger como sigue:

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).

En la dirección transversal. El espaciado (d) en la dirección transversal se determina a partir de la ecuación $d = W_r/3$. En donde:

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

W_r = 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 530.3.1.

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.

530.3.3 CÁLCULOS EN ACERAS Y CARRILES PARA CICLORRUTAS.

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

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 530.3.1

Dirección transversal. Se debe aplicar la siguiente fórmula: $df = W_f/n$. En donde:

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

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

Wf = Es el ancho de la acera o del carril de la ciclorruta 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.

530.3.4 ÁREAS DE FORMA IRREGULAR.

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.

530.3.5 CÁLCULO DE LA UNIFORMIDAD GENERAL DE ILUMINANCIA EN ALUMBRADO PÚBLICO.

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

a. Como $U_0 = E_{\min}/E_{\text{prom}}$. Tomando como base los puntos evaluados en el campo típico de la vía, bien sean los 9 puntos del método europeo o los 20, 30 ó 60 puntos del método computacional, donde:

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

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

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

b) Como $U_g = E_{\min}/E_{\max}$. Tomando como base los puntos evaluados en el campo típico de la vía, bien sean los 9 puntos del método europeo o los 20, 30 ó 60 puntos del método computacional. Donde:

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

E_{\max} Corresponde al punto de mayor iluminancia calculado entre todos los puntos considerados.

Coficiente de uniformidad general de iluminancia. El valor de la uniformidad general de Iluminancia se calcula de acuerdo con los criterios siguientes:

$$U_0 = E_{\min} / E_{\text{prom}}$$

Tomando como base los puntos evaluados en el campo típico de la vía, bien sean los 9 puntos del método europeo o los puntos requeridos por el método computacional;

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

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

E_{prom} Corresponde al valor promedio calculado entre todos los n puntos considerados, desde el primero E_1 hasta el final E_n . La fórmula aplicable para el cálculo de la luminancia promedio es:

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

Donde:

E_i Valor de la iluminancia en cada punto.

n Número de puntos o áreas consideradas en el cálculo.

E_{prom} Iluminancia promedio de la vía o zona considerada.

530.3.6 CÁLCULO DEL VALOR DE RELACIÓN DE ALREDEDORES-SR-.

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 esta misma.

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.

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

530.4 ESQUEMA DE MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO PÚBLICO.

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 bombillas. (ver la figura 530.4). La curva B corresponde a la curva de depreciación del flujo luminoso de la bombilla (DLB). La curva C corresponde a la curva del factor de ensuciamiento (F_E).

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 (F_M) establecido en el presente reglamento.

La periodicidad de la limpieza del conjunto óptico de la luminaria y del cambio de las bombillas 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.

Hay que resaltar, como se puede ver en la figura 530.4, 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 bombillas nuevas, escasamente produzcan el valor de iluminancia mínimo

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

mantenido.

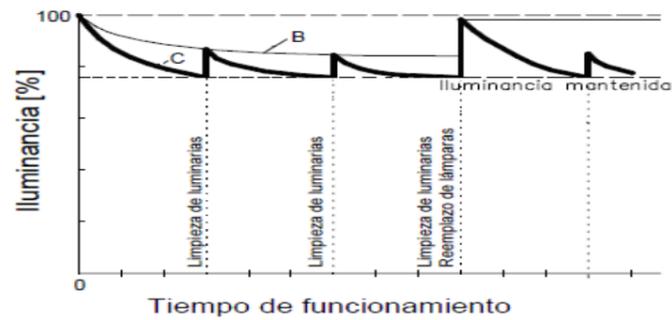


Figura 530.4 Esquema de mantenimiento de una instalación de alumbrado público

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. La interventoría debe verificar el cumplimiento del esquema de mantenimiento.

SECCIÓN 535 CÁLCULOS DE LUMINANCIA.

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 incida 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.

535.1 COEFICIENTE DE LUMINANCIA.

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.

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

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

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 (α , β , γ , δ), representados en la figura 535.1.1

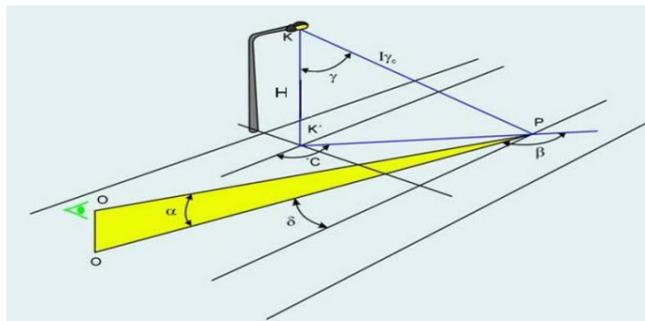


Figura 535.1.1 Parámetros a considerar en el cálculo de luminancia

Para el área de la calzada considerada por un conductor comprendida entre 60 m y 160 m delante de él, α sólo varía entre $0,5^\circ$ y $1,5^\circ$. Dado que la dependencia de q con respecto a α permanece prácticamente constante, es usual que los coeficientes de luminancia sean determinados con α mantenida constante a 1° . en relación con el ángulo δ , que varía entre 0° y 20° , no incide en el cálculo y en la práctica se desprecia. Este es el estándar de la CIE.

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 535.1.1 de modo que pueda establecerse una función.

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

Así, pues, el coeficiente q puede tabularse en función de las dos variables independientes descritas β y γ 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, obteniendo 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:

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

Coficiente 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.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

A partir de las Tablas R es muy fácil calcular la luminancia en cada punto, pues basta determinar los ángulos β y γ 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:

535.2 CLASIFICACIÓN DE LAS SUPERFICIES DE LAS CALZADAS (ESTADO SECO).

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 S_1 definido como la relación $r(0,2)/r(0,0)$.
- ⇒ El factor especular S_2 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 β y γ).

ω = 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 (β varía entre 0° y 180° y γ varía entre 0° y 90°).

Si para verificar en el terreno los cálculos de luminancia se utilizan las tres características, (S_1 , S_2 y Q_o) estas 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.

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.

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

Tabla 535.2 a. Clasificación de superficies según el factor S_1 .

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 535.2 a.

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 la cual pueden llevarse a cabo los cálculos de luminancia. Las características resumidas de las cuatro (4) Tablas R, de acuerdo

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

con el patrón definido por la CIE, se dan a continuación.

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 abrillantadores 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 abrillantadores 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.

Tabla 535.2 b. Designación aproximada de superficies en las clases típicas.

Fuente: norma NTC 900 numeral 7.3.5.

Cuando el valor Q_0 de una superficie sea diferente al valor para el cual se hizo la tabla patrón, los valores R de la tabla patrón deberán multiplicarse por la relación entre el valor Q_0 real de la superficie y el valor Q_0 de la tabla patrón. En los casos donde las características de reflexión S_1 y Q_0 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:

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

En donde:

- L** Es la luminancia mantenida en cd/m^2
- \sum 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 (β, γ) .
- I(C,γ)** Es la intensidad luminosa en la dirección (C, γ) , cd/klm .
- ϕ Es el flujo luminoso inicial en klm de las fuentes de cada luminaria.
- F_M** Factor de mantenimiento. Ver Capítulo 7 Numeral 720-3 Metodología para el cálculo del factor de mantenimiento.
- H** Es la altura de montaje en m de la luminaria por encima de la superficie de la calzada.

Salvo que se especifique lo contrario para el revestimiento asfáltico de la calzada, se debe utilizar la matriz R3 de la CIE con $Q_0 = 0,07$, que corresponde al tipo de pavimento que se considera más usado en Colombia.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

535.3 TABLAS R

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 la tabla 535.2 b.

β Tan γ	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	395	386	371	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	189	198	207	224	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 535.3 a Tabla r para superficie estándar R1

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

		Qo= 0.07 S1= 0.58 S2= 1.80																		
β	0°	2°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	60°	75°	90°	105	120	135	150	165	180
Tan γ																				
0.00	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	355
0.50	411	411	411	411	403	403	384	379	370	346	325	303	281	281	271	271	271	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
1.00	335	335	335	325	292	291	260	238	216	195	173	152	152	152	152	152	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
1.50	271	271	260	227	179	152	141	119	108	93	80	76	76	80	84	87	89	91	93	95
1.75	249	238	227	195	152	124	106	91	78	67	61	52	54	58	63	67	69	71	73	74
2.00	227	216	195	152	117	95	80	67	61	52	45	40	41	45	49	52	54	56	57	58
2.50	195	190	146	110	74	58	48	40	35	30	27	24	26	28	30	33	35	38	40	41
3.00	160	155	115	67	43	33	26	21	18	17	16	16	17	17	18	21	22	24	26	27
3.50	146	131	87	41	25	18	15	13	12	11	11	11	11	11	12	14	15	17	18	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
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
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
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 535.3 b. Tabla r para superficie estándar R2

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

		Qo= 0.07 S1= 1.11 S2= 2.38																				
β		0°	2°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	60°	75°	90°	105	120	135	150	165	180	
Tan ν																						
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 535.3 c. tabla r para superficie estándar r3

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

Qo= 0.08 S1= 1.55 S2= 3.04																				
β	0°	2°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	60°	75°	90°	105	120	135	150	165	180
Tan γ	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
0.25	297	317	317	317	317	310	304	290	284	277	271	244	231	224	224	218	218	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
0.75	376	383	370	350	330	304	277	251	231	211	198	165	139	132	132	125	125	125	119	119
1.00	396	396	396	330	290	251	218	198	185	165	145	112	86	86	86	86	86	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
1.50	409	396	356	284	218	172	139	115	100	88	79	61	50	50	50	50	52	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
2.00	409	383	317	224	145	106	86	71	59	53	45	33	29	29	29	30	32	33	34	37
2.50	396	356	364	152	100	73	55	45	37	32	28	21	20	20	20	21	22	24	25	26
3.00	370	304	211	95	63	44	30	25	21	17	16	13	12	12	13	13	15	16	17	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
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
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
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
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															

Tabla 535.3 d. Tabla r para superficie estándar R4

535.4. CÁLCULO DE LA LUMINANCIA PROMEDIO SOBRE LA VÍA.

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 separador central y el ancho de una calzada en vías con separador 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.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

Se ha demostrado que la Tabla-r se aplica por encima de un rango de ángulos de visión situados entre $0,5^\circ$ y $1,5^\circ$, 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.

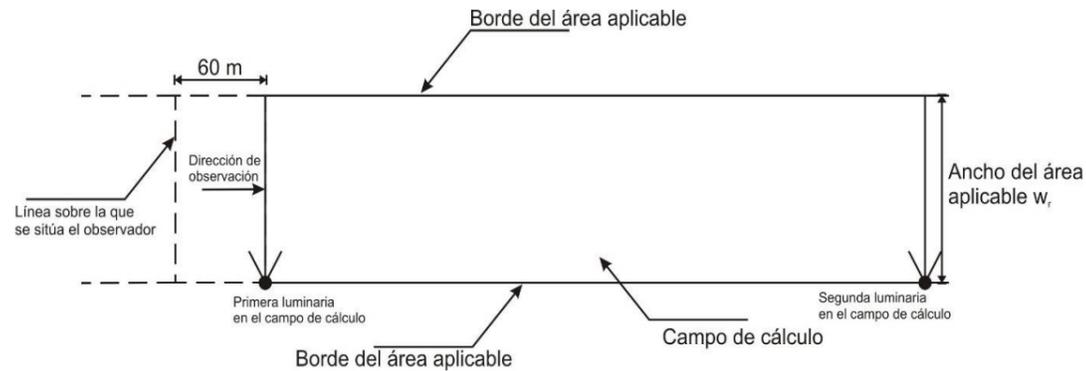


Figura 535.4 a. Campo de cálculo de la luminancia de la calzada

535.4.1 POSICIÓN DE LOS PUNTOS DE CÁLCULO.

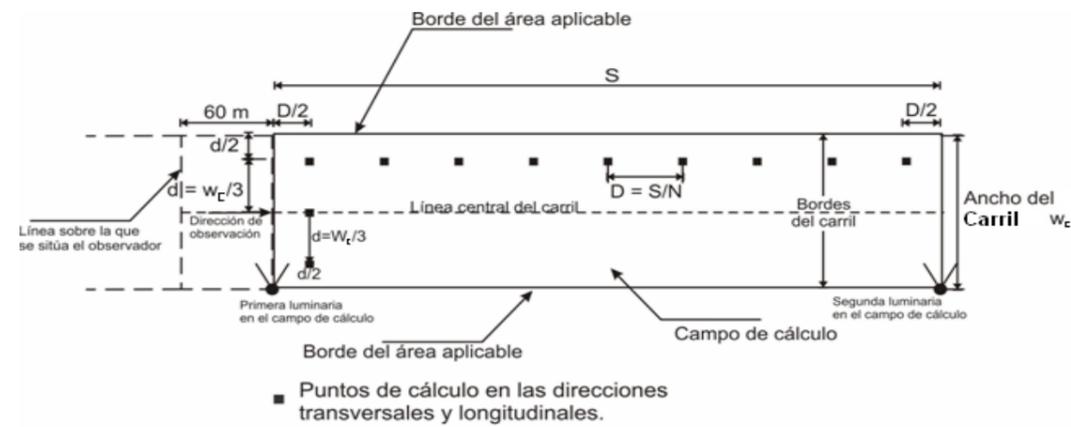


Figura 535.4.1 . Posición de los puntos de cálculo en un carril.

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).

En la dirección transversal. El espaciado (d) en la dirección transversal se determina a partir de la ecuación: $d = w_c/3$, en donde:

d Es el espaciado entre puntos en la dirección transversal (m) y w_c es el ancho de cada carril de circulación. Los puntos de cálculo más alejados se espacia $d/2$ desde los bordes del carril.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

535.4.2 POSICIÓN DEL OBSERVADOR.

El ángulo de observación desde la horizontal se fija en 1° . 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.

535.4.3 LA UNIFORMIDAD LONGITUDINAL DE LA LUMINANCIA (U_L).

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.

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 deberá etiquetarse como "observador móvil para los métodos de cálculo de la luminancia".

535.4.4 NÚMERO DE LUMINARIAS INCLUIDAS EN EL CÁLCULO.

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 $17H$ (véase la figura 535.4.2).

Como consecuencia, sólo es necesario considerar luminarias que se sitúen a una altura 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.

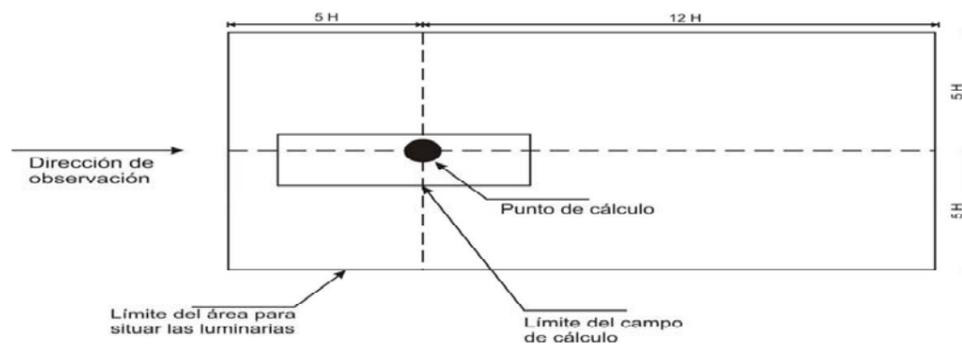


Figura 535.4.2 Luminarias que pueden contribuir a la luminancia en el punto de cálculo.

535.4.5 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.

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 $U_o = L_{min} / L_{prom}$, donde:

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

L_{\min} Corresponde al punto de menor luminancia entre todos los puntos calculados.

L_{prom} Corresponde a la luminancia promedio sobre la calzada.

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.

535. 4.6 CALCULO 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 1.961, Fisher en 1.967 y Hartmann en 1.963 y 1.968.

La luminancia de velo, de acuerdo con la CIE, puede calcularse mediante la siguiente fórmula empírica:

$$L_v = K \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{Eg_i}{\theta_i^2} \right) \quad \text{en } Cd/m^2$$

Donde:

K = Factor que depende de la edad del observador (se asume un observador de 30 años). $K=10$ si el ángulo θ está en grados y $K= 10^{-3}$ si el ángulo θ está en radianes

Eg_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 .

θ_i = 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.

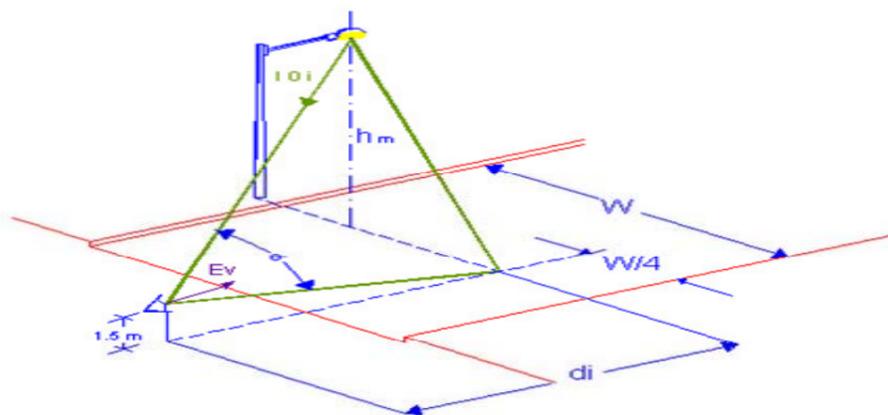


Figura 530.4.6 Cálculo de Luminancia de Velo

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

Restricciones y alcance en la aplicación de las fórmulas anteriores: El ángulo θ_i está comprendido entre 1,5° y 60° (en la práctica se limita a 20°)

- ⇒ 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 ¼ del ancho de la calzada (de derecha a izquierda) justo al frente de la primera luminaria y el ángulo de visión comprende hasta 20° 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.

ϕ = Ángulo entre la línea de circulación y la luminaria, en grados. La línea de circulación es una línea paralela a la vía localizada a ¼ 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.

b) 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 ó 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 de la Tabla 12 de la norma NTC 900 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.

c) Incremento del umbral (Ti) en una instalación de alumbrado público. Es una medida de la pérdida de visibilidad causada por un deslumbramiento engeguecedor 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 bombilla, mediante la siguiente fórmula,

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

$$TI = K \times E_g / (L_{prom})^{0,8} \times \theta^2 \quad (\%)$$

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 θ) 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:

$$L_v = 10 \times E_g / \theta^2 \quad \text{y} \quad TI = 65 L_v / (L_{prom})^{0,8}$$

$$TI = 650 E_g / \theta^2 \times (L_{prom})^{0,8}$$

Para edades del observador diferente a 23 años, el valor de la constante K se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$K = 641[1 + (A/66,4)^4],$$

En 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°)

L_{prom} Es la luminancia media inicial de la superficie de la calzada

θ 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.

SECCIÓN 540. MEDICIONES FOTOMÉTRICAS DE ALUMBRADO PÚBLICO.

Una vez construido el proyecto de alumbrado público y después de 100 horas de funcionamiento de las bombillas 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.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

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 superficies de las calzadas de las vías existentes en el país. Para lo cual se debe seleccionar un vano adecuado de medición.

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.

Cuando la medición no sea técnicamente apropiada ó involucra 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.

540.1 EVALUACIÓN DEL VANO SELECCIONADO PARA LA MEDICIÓN.

Los vanos a ser medidos deberán 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 ó la horizontalidad del medidor de iluminancia.
3. No estar ubicados en las zonas calificadas como altamente peligrosas desde el punto de vista delincuencial.
4. Estado de la calzada. Deberá estar seca para la medición.
5. Estar libres de influencia de iluminación diferente al sistema a evaluar (vehicular o comercial).

540.2 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.

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 bombilla.
- ⇒ Por medio de inspección visual se debe verificar que los accesorios eléctricos y la bombilla sean los adecuados para la luminaria.
- ⇒ Verificar la tensión de alimentación en los bornes de la luminaria.
- ⇒ Las luminarias deben estar en régimen normal de funcionamiento.
- ⇒ Las bombillas 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.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

- ⇒ Evitar las mediciones cuando el piso está 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.

540.2.1 MARCACIÓN DE LA VÍA.

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.

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.

540.2.2 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 adaptado de la NTC 900, que consiste en tomar los siguientes puntos de acuerdo con la Figura 540.2.2.

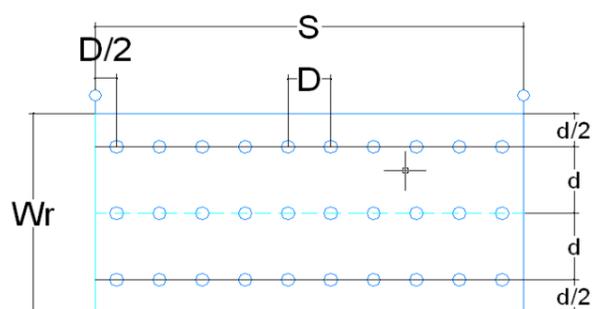


Figura 540.2.2. Malla de medición para iluminancia y luminancia

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 espaciamiento se determina a partir de la siguiente ecuación

$$D = S / N.$$

Donde:

D es el espaciamiento entre los puntos en la dirección longitudinal (m.)

S es el espaciamiento 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 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 $D/2$ mas allá de primera luminaria.

En dirección transversal se toman tres puntos considerando el ancho total de la calzada,

$$d = Wr / 3.$$

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

Donde:

d es el espaciamiento entre los puntos en la dirección transversal (m.)

W_r es el ancho de la calzada del área aplicable (m).

Para las vías de la malla vial Intermedia y de la malla vial Local se recomienda utilizar el sistema de los 9 PUNTOS.

b) Medición de la luminancia. De acuerdo con las normas CIE 140-2000 o NTC-900, los puntos de medición se deben espaciar uniformemente en el campo de medición y situarse como se indica en la Figura 540.2.2

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 metros.

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,

$$d = W_l / 3 .$$

Donde:

d Es el espaciado entre puntos en dirección transversal (m.), y

W_l 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.

540.3 MEDICIONES QUE DEBEN APLICARSE SEGÚN EL TIPO DE VÍA.

Las mediciones a aplicarse por cada tipo de vía se pueden apreciar en la Tabla 540.3.

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

Tabla 540.3 Mediciones por tipos de vías

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

Notas.- 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.

540.3.1 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 respeto 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.

c) 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 procederá 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.

d) Cuidados en la medición

1. Antes de empezar a realizar las mediciones la persona encargada de realizar las lecturas en el luminancímetro, debe de calibrar este medio de medición de acuerdo con su manual de funcionamiento. Igualmente debe verificar el estado de la luminaria, la tensión de red, inclinación de la luminaria y el brazo, fijación de la luminaria al brazo, posición de la bombilla y avance de la luminaria sobre la calzada.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

2. Durante la medición la persona encargada de marcar el punto debe de 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 de focalizar el punto lo más exactamente posible para minimizar los errores en las lecturas.

540.3.2 EVALUACIÓN DE LA ILUMINANCIA.

Una vez obtenidos los valores de los niveles de luminancia en los 9 puntos, se procede a calcular la iluminancia promedio E_{prom} y el coeficiente de uniformidad general U_o 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 fotocelda 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, la tensión de red, inclinación de la luminaria y el brazo, fijación de la luminaria al brazo, posición de la bombilla 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.

540.3.3 SELECCIÓN DE LOS MEDIOS DE MEDICIÓN.

a) Medidores fotométricos de luminancia: Los siguientes requisitos se adoptan de la norma NTC 900, Sección 9.2.2.1, Instrumentos debidamente calibrados.

1. Repetibilidad de las mediciones en cualquier punto de la escala utilizada.
2. Las medidas deberán 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 se adoptan de la norma NTC 900, Sección 9.1.2.1, Instrumentos debidamente calibrados.

1. Repetitividad de las mediciones en cualquier punto de la escala utilizada.
2. Deberán tener una alta sensibilidad
3. Deberá tener una precisión no menor del $\pm 5,0\%$.
4. Deberán tener una corrección efectiva del coseno hasta un ángulo de 85° .

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

5. Deberán tener corrección de color según la curva de eficiencia espectral de la CIE $V(\lambda)$.
6. El coeficiente de sensibilidad con la temperatura deberá ser despreciable dentro del rango normal de temperaturas.
7. Deberá tener una suspensión que permita ajustar automáticamente la horizontalidad.
8. Deberá de ser capaz de medir niveles de Iluminancia horizontal, o ubicarse en otros planos de medición requeridos.
9. El fotómetro deberá ser ubicado tal que el observador no produzca sombras, cubierto de la luz extraña que no serán medidas. (Utilización de un cable de extensión).

540.3.4 COMPETENCIA DE PERSONAL RESPONSABLE DE LAS MEDICIONES.

El personal que tiene a su cargo la toma de mediciones deberá estar capacitado en este tipo de actividades y debe evitar que las medidas se alteren por:

- a) Luces o sombras introducidas por el operador: Deberá evitarse introducir luz adicional por reflexión sobre ropa blanca o colores fosforescentes. Igualmente, deberá 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 repetibilidad y reproducibilidad mayor al 1%.

Nota 1: 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 2: Los errores por reproducibilidad son las diferencias introducidas por diferentes operadores en un mismo vano en tiempos muy cercanos utilizando el mismo instrumento.

540.3.5 INFORME DE LA MEDICIÓN.

En el informe se deben incluir los siguientes datos:

- a. Localización del sitio de la medición
- b. Fecha y hora de la medición
- c. 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.
- d. Gráfico de la vía en planta y corte con las características de la instalación
- e. Condiciones eléctricas de operación.
- f. Condiciones de operación de las luminarias
- g. Condiciones atmosféricas.
- h. Tabla de datos medidos en el sitio
- i. Descripción de los instrumentos utilizados
- j. Nombre de los participantes en la medición.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

MEDIDA DE NIVELES DE ILUMINANCIA - MÉTODO DE LOS NUEVE PUNTOS					
RESPONSABLE:		FECHA		HORA INICIO	
DIRECCIÓN DEL SITIO DE MEDICIÓN					
TRAMO DE VIA QUE TIENE CONDICIONES UNIFORMES AL SITIO DE MEDIDA					
LUXÓMETRO (Marca -referencia - N° serie)					
CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE LA NOCHE					
LUMINARIA (Tipo-referencia-marca)				BOMBILLA (Potencia- fuente)	
TIPO DE APOYO (Poste-longitud)				AVANCE DE LA LUMINARIA SOBRE LA CALZADA - A2 (m)	
ANCHO DE CALZADA - W (m)				ALTURA DE MONTAJE DE LA LUMINARIA -H (m)	
SEPARADOR	SI	NO	N° SEPARADORES		
DISPOSICIÓN DE LAS LUMINARIAS			TENSIÓN NOMINAL DE LA LUMINARIA		
INTERDISTANCIA ENTRE LUMINARIAS CONSECUTIVAS -S (m)			DISTANCIA DEL POSTE AL BORDE DE LA CALZADA -A1 (m)		
ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LA LUMINARIA			TENSIÓN MEDIDA EN LA RED		
¿EL CONJUNTO ÓPTICO DE LAS LUMINARIAS ESTÁ SUCIO POR LA POLUCIÓN?					
PUNTOS	1	4	7	OBSERVACIONES	
1					
2					
3					

Tabla 540.3.5 Formato de planilla para los datos de iluminancia medidos en alumbrado público

540.4 CASOS EN LOS CUALES NO ES FACTIBLE LA MEDICIÓN.

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 deberán ser realizados de la siguiente forma:

1. Considerar no menos de 3 vanos a cada lado del evaluado, dichos vanos deberán indicar los espaciamentos reales encontrados en el campo.
2. La configuración real de la vía (alturas de montaje, avance del andén, ancho de calzada, bermas, etc.).
3. Factor de mantenimiento real de la instalación.

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 andén)
3. El estado de mantenimiento de la instalación.

540.5 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.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

$$L_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} L_i}{n}$$

Donde:

L Luminancia en un punto de medición
N Número de puntos de medición

540.5.2 Uniformidad general (U₀). Es el cociente entre de 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

b) 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.

$$U_L < U_{L_i} \quad \vee \quad U_{L_i} = \frac{L_{MIN_i}}{L_{MAX_i}}$$

U_L Uniformidad longitudinal de la calzada
U_{L_i} Uniformidad longitudinal del i-ésimo carril
L_{MIN_i} Luminancia mínima del i-ésimo carril
L_{MAX_i} Luminancia máxima del i-ésimo carril

c) Iluminancia promedio (E_{prom}). Es el promedio aritmético de todos los valores medidos en un tramo o vano.

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

E_i Iluminancia en un punto de medición
N Número de puntos de medición

Nota: 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.

d) 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}).

e) 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".

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público**SECCIÓN 550 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 alimentar el sistema de alumbrado.

550.1 REQUISITOS GENERALES DE LAS REDES DE ALUMBRADO PÚBLICO.

- a. Las instalaciones eléctricas de los circuitos de alumbrado público deben cumplir con las disposiciones de seguridad contempladas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, y sus materiales y equipos deben tener certificado de conformidad de acuerdo con dicho Reglamento Técnico.
- b. Los circuitos de baja tensión alimentados desde transformadores exclusivos de alumbrado público deberán tener una tensión que no facilite la conexión de servicios domiciliarios. Para sistemas de redes trifásicas de media tensión, los circuitos de baja tensión deben ser trifásicos tetrafilares, con una tensión fase – fase de 380 V. Las luminarias se conectarán entre fase y neutro a 220 V;
- c. Para sistemas de redes monofásicas deben tener salida secundaria del tipo monofásicos trifilar 480/240 V y las luminarias se conectarán entre fase y neutro a 240 V.
- d. El neutro debe estar sólidamente aterrizado.
- e. La regulación de tensión de baja tensión que debe garantizar el operador de red; en el caso del alumbrado domiciliario debe ser igual a la tensión del servicio domiciliario y por tanto no debe exceder el rango de variación de +5% -10% la tensión nominal (Norma NTC 1340). En el caso del servicio de alumbrado público el nivel de tensión debe estar dentro del rango de funcionamiento normal de los equipos, es así que si el conjunto eléctrico de las luminarias tienen balastos electromagnético tipo reactor, la variación de tensión de alimentación no podrá tener una variación de tensión mayor de $\pm 5\%$ la tensión nominal de los balastos que tengan las luminarias de alumbrado público.

550.2 TOPOLOGÍA DE LA RED ELÉCTRICA.

Los circuitos de baja tensión dedicados exclusivamente al alumbrado público, como en avenidas, parques y grandes áreas, deben cumplir los siguientes requisitos:

- a. Alimentarse con transformadores exclusivos.
- b. Los transformadores alimentados de redes trifásicas deben tener salida secundaria del tipo trifásico tetrafilar de 380/220 V,
- c. Para sistemas de redes primarias monofásicas deben tener salida secundaria del tipo monofásicos trifilar 480/240 V.
- d. Deben ser potencias estandarizadas de transformadores que faciliten su adquisición y cada transformador de uso exclusivo de alumbrado público no debe ser mayor a 75 KVA,
- e. Transformadores de potencias mayores a 5 KVA deben llevar asociado un equipo de medida, que permita tener control real de la energía consumida en el alumbrado público.
- f. En sectores residenciales y pequeños comercios, la red eléctrica de distribución en baja tensión podrá ser compartida con las instalaciones de alumbrado público y la tensión de alimentación será la tensión fase nominal de la red (usualmente 208 V).
- g. En los circuitos de iluminación compartidos con redes de uso general, se puede usar la tensión propia de la red 208/120 ó 220/127 Voltios, o monofásico 240-120 voltios.
- h. En estos casos los Operadores de Red deben considerar, en sus normas de construcción

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

condiciones especiales de las estructuras de soporte de la red, como la separación, características mecánicas para soporte de cables, brazos, luminarias y demás herrajes, 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.

- i. Los Operadores de Red en sus normas de construcción de redes en vías intermedias y locales, con clases de iluminación M3, M4 y M5, deben contemplar la localización de estructuras con base en estudios fotométricos, usando la información de luminarias certificadas con bombillas de las potencias usualmente utilizadas y eficacias lumínicas no menores a las establecidas en el presente reglamento. El estudio debe comparar la información certificada de por lo menos tres tipos de luminarias. 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%.
- j. Las autoridades municipales, como responsables del servicio de alumbrado público, manejo del espacio público y responsables primarios de la prestación del servicio público de energía deben exigir el cumplimiento de esta normatividad de separación máxima de los postes en la construcción de las nuevas redes eléctricas de uso general, en los cascos urbanos y podrán exigir la modificación de las mismas en el caso de incumplimiento.
- k. La característica de diseño como circuito aéreo o subterráneo dependerá básicamente de las disposiciones de ordenamiento municipal, las cuales deben ser atendidas por quienes desarrollen los proyectos de alumbrado público.

SECCIÓN 560 ILUMINACIÓN DE OTRAS ÁREAS DEL ESPACIO PÚBLICO.

El Decreto 1504 de 1998 de manejo del Espacio público en los planes de ordenamiento territorial, contempla otros elementos constitutivos del espacio público tales como: Áreas para la conservación y preservación de las obras de interés público y los elementos urbanísticos, arquitectónicos, históricos, culturales, recreativos, artísticos y arqueológicos; las cuales pueden ser monumentos nacionales, murales, esculturas, fuentes ornamentales, escenarios deportivos, escenarios culturales y de espectáculos al aire libre, túneles, etc.

No todos los espacios públicos, definidos en el Decreto 1504 de 1998 reglamentario de la Ley 388 de 1997, están contemplados para ser iluminados con cargo al servicio de alumbrado público; pero esto no implica que no necesitan ser iluminados. El servicio de alumbrado público está reglamentado en el Decreto 2424 de julio 18 de 2006.

560.1 ILUMINACIÓN DE GRANDES ÁREAS DEL ESPACIO PÚBLICO.

Cuando el área a iluminar es de grandes dimensiones, superiores a 5.000 m² y la relación largo / ancho tiene un valor máximo de 10, es conveniente considerar la iluminación con postes de gran altura o mástiles y no simplemente con postes y luminarias convencionales.

Entre las ventajas del uso de mástiles de gran altura (27 m) se tiene: Mejora sustancial el impacto ambiental visual de la instalación, así como el rendimiento luminoso de la instalación, al favorecer la visión general de cualquier objeto en el área, además de disminuir los costos de operación, mantenimiento y reposición de la instalación de alumbrado (Ver figura 560.1 a)

En este tipo de iluminaciones se calcula la iluminancia (horizontal) promedio E_{prom} , así como los valores de E_{max} y E_{min} sobre el área y los valores de uniformidad definidos como las relaciones entre E_{min}/E_{prom} .

Los puntos de cálculo se ubican en el centro de los cuadrados que componen una red que cubre toda el área a iluminar. Las aristas de cada cuadrado en la red de cálculo no deben exceder de 5 m. Deben

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

contemplarse puntos de cálculo en las cruces viales a desnivel considerando completamente su geometría (cambios de altura e inclinación) y para cada uno de ellos se calcula la iluminación horizontal E_h respectiva, a partir del aporte de todos y cada uno de los proyectores de la instalación.

Los mástiles se colocan de tal manera que no interfieran con el trabajo del área: bien sean bodegas al aire libre, patios de maniobras, intersecciones viales con cruces a desnivel, glorietas, zonas aledañas a hitos y escenarios deportivos, parqueadero.

Cada mástil cubre aproximadamente un área equivalente a un cuadrado cuyo lado mide cuatro (4) veces su altura. Por ello, los mástiles se fabrican de 20 ó 27 metros. El problema radica en que la altura del mástil eleva su costo de manera exponencial.

Mástiles de 27 m se justifican sólo donde el ahorro de espacio sea más importante que el costo del mástil. De modo que una instalación mínima contempla al menos 2 mástiles. Esta disposición permite instalar una iluminación con una iluminancia general que oscila entre 6 y 100 luxes, dependiendo del trabajo visual requerido en el área y con un mínimo de sombras.

Si dentro del área hay zonas con requerimientos lumínicos mayores, es preferible utilizar iluminación adicional, bien sea con luminarias sobre postes, fachadas o decorativas.

Los mástiles se ubican en el centro del área a iluminar siempre que sea posible. Ver Figura 560.1 a. Otra posible distribución de los mástiles se basa en colocarlos en los bordes del área a iluminar. Aunque la relación área iluminada / costo es menor que la distribución directa en el área de trabajo, en ocasiones se justifica para dejar el área totalmente libre de cualquier obstáculo, como pudiera llegar a ser el mástil. Ver Figura 560.1 b.

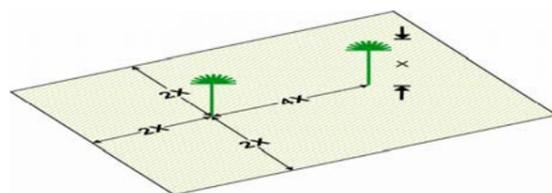


Figura 560.1 a. Ubicación de mástiles en el centro del área

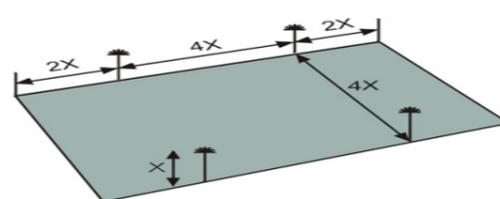


Figura 560.1 b. Ubicación de mástiles laterales al área

Desde el punto de vista de la resistencia mecánica de la estructura del mástil, de las plataformas de soporte de los equipos de alumbrado, y de facilitar las labores de mantenimiento, es conveniente utilizar proyectores que tengan el conjunto óptico separado del conjunto eléctrico (proyector o conjunto óptico y cofre con accesorios eléctricos); en ese caso es necesario verificar las características del arrancador que se va a utilizar y la distancia máxima que éste permite entre la bombilla (ubicada en el proyector) y el conjunto balasto-arrancador (ubicados en el cofre); pues la pérdida de energía del pulso de arranque por amortiguamiento capacitivo del cable de conexión, pueden ocasionar anomalías en el encendido de las bombillas.

560.2 ILUMINACIÓN DE FACHADAS DE EDIFICIOS Y MONUMENTOS PÚBLICOS.

Aparte de las vías convencionales, la iluminación de fachadas, iglesias, conventos y monumentos es de gran interés para mantener la estética del paisaje urbano, mejorando de esta manera la comodidad visual y por ende la calidad de vida de los habitantes del municipio.

Iluminar las fachadas y los exteriores de los edificios constituye una de las realizaciones más exitosas y de la luminotecnia. Sus fines pueden ser puramente estéticos o pueden incluir objetivos prácticos, como

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

en el caso de la *iluminación de seguridad*. La iluminación exterior de un edificio reporta además beneficios como seguridad, prestigio y *publicidad económica* en la medida que se convierta en referente de la ciudad.

Al elaborar un proyecto de iluminación exterior de fachadas de edificios y monumentos públicos se deben considerar los siguientes factores

a) Dirección principal de la visión de los observadores: Es necesario determinar desde dónde será contemplado el edificio o fachada por la mayoría de los observadores. Esta dirección será considerada como el origen de la *visual principal*. El referente es que ningún brillo o reflejo directo superior a 10 veces el brillo promedio del monumento debe quedar en esta dirección, porque causará deslumbramiento a los observadores y esa molestia disminuye la calidad de la iluminación diseñada.

b) Nivel de iluminancia vertical requerido: Sobre las fachadas, el diseñador debe prever una iluminancia vertical que depende de la ubicación del observador, la reflectancia de la fachada y la iluminación circundante en los alrededores del edificio considerado, se recomiendan tener en cuenta los valores de la Tabla 560.2.

Observador	Reflectancia de fachada	Alrededores (luxes)		
		Poco Iluminados	Medianamente Iluminados	Muy Iluminados
Fachadas para ser vistas desde adyacencias cercanas	Alta reflectancia entre 0,70 a 0,85 (claras)	50	100	150
	Reflectancia media entre 0,45 a 0,70 (grises)	100	150	200
	Reflectancia baja entre 0,20 a 0,45 ⁽¹⁾ (gris oscuro, negro)	150	200	300
Fachadas para ser vistas a distancia	Todas las fachadas	150	200	300

Tabla 560.2. Niveles de iluminancia vertical recomendado para fachadas

Fuente: *IESNA Lighting Handbook. 8ª edición año 2.000.*

Generalmente si las fachadas tienen reflectancia por debajo de 0,2 resultan muy costosas de iluminar mediante el sistema de proyectores. Es preferible utilizar otros métodos de iluminación como los LED, la fibra óptica u otras tecnologías apropiadas para delinear el contorno de algunas partes del edificio.

c) Análisis del contorno y forma del edificio: Muchos alrededores de edificios tienen figuras que se deben resaltar para romper la monotonía de una fachada. Es el caso de las rejas, árboles en solitario, estatuas, monumentos. La idea es poderlas resaltar como siluetas oscuras sobre la fachada iluminada de la edificación, lo cual se logra ubicando los componentes del proyecto en la secuencia edificio, proyectores, figura a resaltar y observador. Un diseño más elaborado puede contemplar este resalte no solo por silueta sino por iluminación de diferente color o contraste.

d) Selección de las fuentes luminosas a utilizar: La fuente de luz se selecciona de acuerdo con el color y estilo del edificio. Edificaciones modernas tienden a iluminarse con más colorido que edificaciones clásicas o rústicas. Las fuentes de luz para edificaciones modernas incluyen bombillas de halógenos metálicos de colores como el blanco, para edificios sobrios, el verde, el violeta, el rojo o una combinación de ellos, para edificaciones coloridas. Una alternativa más económica aunque menos espectacular son las bombillas de vapor de sodio. Otra alternativa en iluminación de edificios modernos se provee con fuentes de luz distribuidas en *fibra óptica*, tubos de *neón* y *LEDs*.

Para los edificios clásicos de acabados rústicos, en general se utilizan bombillas de sodio alta presión. Edificios clásicos con fachadas claras tienden a iluminarse con halógenos metálicos.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

e) Selección de los proyectores y equipos a utilizar: Se debe tener en cuenta el color y la cantidad de luz necesitada para proveer el nivel lumínico recomendado sobre la fachada, otro aspecto a tener en cuenta es la localización posible de los proyectores, la distancia a la base del edificio y altura a iluminar.

De acuerdo con las características de los elementos a iluminar y de los parámetros analizados anteriormente, el diseñador debe definir las características físicas, mecánicas y fotométricas del equipo de iluminación más adecuado para diseñar el proyecto de iluminación, teniendo en cuenta la distancia de proyección y el área cubierta a tal distancia, con el fin de obtener el mayor rendimiento del haz sobre la superficie a iluminar.

Para la selección de los proyectores se necesita conocer su clasificación, de acuerdo con los siguientes criterios:

- ⇒ La simetría de su fotometría,
- ⇒ El ancho en grados del haz de proyección según la **CIE**,
- ⇒ La clasificación **NEMA** según la apertura del haz
- ⇒ La construcción mecánica.

f) Localización de los proyectores. Basados en la dirección de la visual principal, la orientación de la luz dependerá de la forma del edificio, en particular de la forma de su planta o de la sección horizontal predominante en la altura de la visual, se buscará que los proyectores entreguen la mayor cantidad de intensidad luminosa en dirección a la normal que establezca el plano de la fachada lo cual permite que la iluminancia vertical sobre la superficie dominante de la fachada sea la máxima, logrando reducción de costos de operación y mayor resalte de la fachada.

A partir de la reducción a figuras geométricas simples, pueden sugerirse la mejor ubicación de los proyectores. Así, un edificio rectangular largo y bajo se ilumina por su contorno; en tanto que un edificio circular y alto, se ilumina desde dos laterales a la visual. Esto resaltará el volumen y profundidad de la edificación.

Como un principio general de iluminación, los proyectores, fuentes e instalaciones **deben ser tan discretos** como sea posible frente al edificio o espacio iluminado, sin dejar a un lado las adecuaciones para protegerlos del vandalismo.

Cuando esto no sea del todo práctico, es necesario evaluar el impacto visual de las instalaciones. En ese caso, se verá comprometida también la selección de los proyectores y equipos.

g) Composición de las fachadas. En las fachadas lisas, si se iluminan de manera muy uniforme, pueden llegar a ser monótono. En ese caso, la introducción de diferentes colores y niveles de iluminación a lo largo de su superficie resulta útil para romper la monotonía. Es el éxito de la desigualdad de la distribución luminosa.

Si en la fachada predominan líneas verticales formadas por columnas, pilares o vidrios, éstas se resaltan mediante proyectores de haz mediano ubicados a izquierda y derecha de la línea de **visual principal**.

Si en la fachada resalta una o varias líneas horizontales, como alfajías, vigas o voladizos continuos, se colocan proyectores pequeños a lo largo de esa línea (sin que se vean) para crear en dicha zona un área con mayor iluminación que divida al edificio en una base iluminada más tenue y la zona superior mas iluminada a partir de la línea horizontal seleccionada.

Fachadas con balcones salientes se iluminan con proyectores retirados, para integrar estos salientes a la arquitectura predominante. Fachadas con entrantes, por el contrario se iluminan con proyectores más cercanos para generar sombras. Los entrantes pueden utilizarse para colocar proyectores de diferente potencia (bien sea mayor o menor) o color con el fin de reforzar la sensación de volumen o profundidad de la edificación.

h) Color predominante de la fachada o monumento. El color predominante de la fachada compromete los elementos del diseño de iluminación por que el color de la fachada incide en la selección del color de

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

la fuente luminosa. Se recomienda utilizar fuentes que resalten el color predominante del edificio y utilizar colores de alto contraste, para evidenciar efectos especiales de sombras, zonas más brillantes o resaltar entrantes y salientes de las edificaciones.

i) **Instalaciones eléctricas** Deben cumplir el RETIE.

j) **Análisis económico y financiero.** Deben incluir no solo costos de inversión sino de operación y mantenimiento en la vida útil del proyecto.

560.3 ILUMINACIÓN DE ESCENARIOS DEPORTIVOS O RECREATIVOS.**560.3.1 CRITERIOS GENERALES.**

El trabajo visual en las canchas está orientado a proveer una visión clara del área de juego a los deportistas, incluyendo los objetos que intervienen. Bajo dos criterios fundamentales: Contraste elevado entre el jugador y el fondo y ausencia o minimización del deslumbramiento, para conseguir una buena visibilidad y una práctica más continua y menos fatigante.

En los campos deportivos se encuentran una gran variedad de superficies reflectantes como el balón, los uniformes de los jugadores, la superficie de la cancha, de las graderías y los espectadores. Cada una de estas superficies no son uniformes ni continuas, sobre todo tratándose de campos deportivos comunales orientados al deporte recreativo o de entrenamientos, esto hace que las reflectancias no sean uniformes y dificultan un estudio basado en luminancia.

Por lo anterior, los diseños y los cálculos se deben basar en la cantidad de luz incidente o Iluminancia, tanto horizontal como vertical:

a) Iluminancia horizontal: La iluminancia horizontal es prácticamente la que determina el nivel de luz en el terreno de juego y como éste sirve de fondo visual para los jugadores y la pelota, es relevante tener una iluminancia horizontal suficiente para crear las condiciones de contraste correcto con el fondo. Por otra parte, como la iluminancia horizontal es responsable por la mayor parte de la luminancia del campo, entonces determina el estado de adaptación del ojo puesto que el área iluminada forma una parte considerable del terreno de visión. La iluminancia horizontal necesaria para un campo deportivo determinado depende de:

- ⇒ El nivel de competencia previsto para la cancha (recreativa, entrenamiento, torneos o profesional)
- ⇒ El tipo de juego, que a su vez determina la velocidad y tamaño de la pelota, el movimiento de los deportistas y la distancia entre éstos y la pelota durante el juego.
- ⇒ La Tabla 550-3.1 ilustra los niveles de iluminancia horizontal en luxes y la uniformidad, recomendados de acuerdo con los criterios anteriores:

El criterio para aplicar el rango por su mínimo o su máximo, depende de la calidad del escenario, el costo del proyecto, el uso real en torneos, competencias o entrenamientos.

Deporte	Nivel de juego			Uniformidad (E_{min}/E_{max})	
	Recreativo	Entrenamiento	Competencia	Entrenamiento	Competencia
Fútbol	50(100)	60(150)	>600	1:3	2:3
Voleibol	60	100	300 a 600	1:3	2:3
Baloncesto	60	100	300 a 600	1:3	2:3
Tenis	150	250	400 a 700	1:2	2:3
Béisbol	150	250	400 a 700	1:2	2:3

Tabla 560.3.1 Niveles de iluminancia horizontal por tipo de juego y nivel de competencia

Fuente: IESNA Lighting handbook

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

b) Iluminancia vertical: La iluminancia vertical, en un campo de juego, es importante para reconocer los objetos y se calcula para escenarios que realizan torneos y juegos profesionales especialmente en donde hay afluencia de público y requerimientos de transmisiones de televisión.

Para los jugadores, la iluminancia vertical es importante y debe venir de todas direcciones a fin de evitar las sombras que podrían comprometer la visibilidad de la pelota de juego. Igual sucede con los espectadores y con las cámaras de televisión. No obstante, si éstos ocupan una posición fija, la iluminancia horizontal deberá comprobarse en la dirección principal de observación.

En campos deportivos donde se necesite calcular la iluminancia vertical, una buena práctica es instalar el mismo nivel lumínico que el establecido para la iluminancia horizontal. Claro está, la iluminancia horizontal se calcula a ras de piso en la cancha, en tanto que la iluminancia vertical se calcula a 1,80 m. del nivel de cancha y en las direcciones desde donde el público tiene visión sobre el juego.

560.3.2 CONTROL DEL EFECTO ESTROBOSCÓPICO.

El efecto estroboscópico consiste en el engaño que experimenta el ojo humano debido a la persistencia de las imágenes en el cerebro por una fracción de segundo después que son vistas. Si una pelota en movimiento se ilumina con una fuente intermitente con un tiempo de intermitencia entre 20 y 80 veces por segundo, se observará que la bola aparece varias veces, como una estela de imágenes.

Esta estela puede confundir al observador respecto de la posición real de la bola. Las bombillas de descarga de alta intensidad (HID), alimentadas con corriente alterna a 60 Hz pueden producir efectos estroboscópicos, que terminan por ocasionar dificultades visuales a los deportistas, en especial cuando se trata de deportes de pelota rápida o de juego aéreo. Este molesto efecto se puede eliminar en un alto porcentaje conectando los proyectores en cada torre de iluminación a las tres fases de la línea de alimentación de manera alternada. Así, la instalación eléctrica debe llevar distribución trifásica a cada torre de iluminación, independiente de la potencia que vaya a manejar.

Cuando se usan proyectores de haz estrecho, esto puede resultar muy crítico, porque algunas partes del campo deportivo pueden quedar alimentadas por una sola de las fases, por eso los proyectores con haces estrechos se deben enfocar en grupos de tres, alimentado cada uno por una fase diferente, pero actualmente la solución más eficaz consiste en alimentar las bombillas de los proyectores con balastos electrónicos de alta frecuencia.

560.3.3 DISPOSICIÓN DE SOPORTES DE LOS EQUIPOS DE ALUMBRADO DE CAMPOS DEPORTIVOS.

De acuerdo con el escenario a iluminar, hay algunas estructuras de soporte con disposiciones típicas que han sido probadas con muy buenos resultados.

Los postes o apoyos para la iluminación de campos deportivos exteriores de uso público, se ubican en disposición lateral al campo de juego o en los vértices del campo. La distancia mínima de separación entre la cancha y el pie de los postes depende en general de la calidad del escenario.

Por ejemplo: una cancha múltiple para un barrio, con disposición de juego recreativo en donde se pueda jugar básquetbol, voleibol, microfútbol y se usa como pista de patinaje, la separación mínima es de 1 m. Este mismo escenario, con gradería para torneos locales, debe colocar los postes detrás de la gradería, a unos 10 m de la cancha.

Pero la ubicación de los postes incide de manera importante en su altura libre para el montaje de los proyectores. La figura 560.3.3 a. ilustra esta relación: para calcular la altura de montaje h_m se proyecta en el diseño el haz de luz desde la cima del poste y se dirige en un ángulo de 30° bajo la horizontal, justo

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

al frente. El haz debe llegar al plano de la cancha de juego a 1/3 de su ancho.

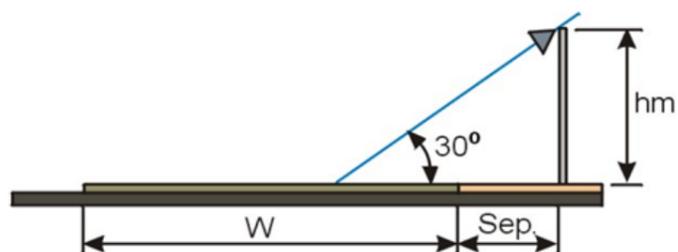


Figura 560.3.3 a Relación entre la separación del campo y la altura de los postes

Otra forma es calcular la altura de montaje mediante la siguiente ecuación:

$$h_m = \left[\frac{W}{3} + Sep \right] * \tan (30^\circ)$$

Donde:

h_m = Altura de montaje mínima de los proyectores

W = Ancho del campo deportivo

$Sep.$ = Separación entre el campo deportivo y la base de los postes

Esto garantiza un bajo nivel de deslumbramiento a los jugadores.

a) Cancha sencilla. El esquema de iluminación mas frecuente en estas canchas, cuando están solas, es usar cuatro (4) postes dispuestos dos a cada lado del campo tal y como lo sugiere la Figura 560.3.3 b

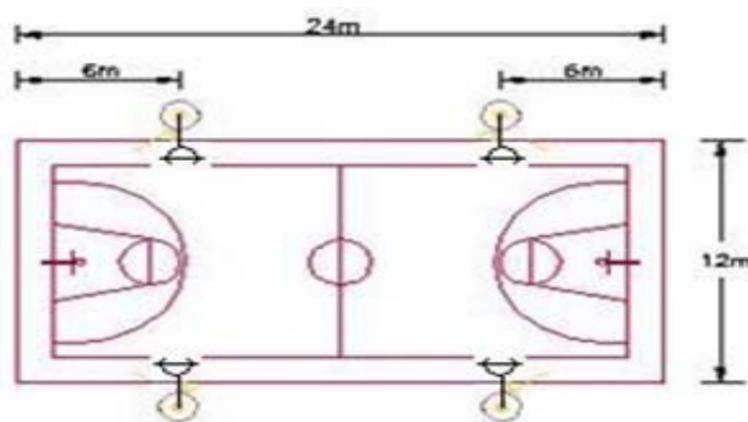


Figura 560.3.3 b. Cancha múltiple sencilla

b) Canchas múltiples Para dos canchas múltiples seguidas, se pueden utilizar cuatro (4) postes distribuidos en los costados laterales ó con dos (2) postes ubicados en el sector central de las canchas cada uno con doble luminaria o proyector hacia las canchas. Véase la Figura 560.3.3.c.

El número de luminarias o proyectores y su potencia, se establece de acuerdo con el nivel lumínico recomendado en este reglamento

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

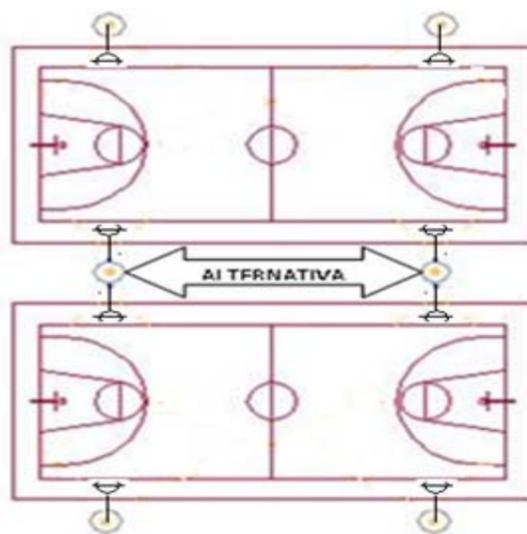


Figura 560.3.3 c. Cancha múltiple doble

c) Canchas de fútbol. Hay dos esquemas para su iluminación: cuatro postes de 18 a 20 m de altura libre en cada arista del campo. La ventaja principal de esta distribución es que esa ubicación no molesta la visión desde las graderías en los laterales del campo. El otro esquema es usar postes de 16 m de altura libre, dos a cada lado del campo, distribuidos simétricamente. La ventaja de este esquema es que resulta más económico que el anterior,—pero tiene el inconveniente que puede ocasionar deslumbramiento a los jugadores, especialmente al portero, debido a la orientación de los proyectores para obtener buenas uniformidades.

SECCIÓN 570 ILUMINACIÓN DE TÚNELES.

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.

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 570 se muestran las zonas que se deben tener en cuenta en el diseño de iluminación de túneles.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

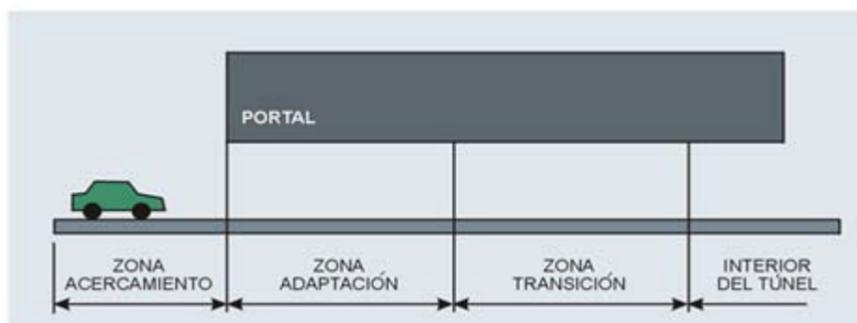


Figura 570 Zonas lumínicas de un túnel

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.

NOTA: 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.

570.1 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA ILUMINACIÓN DE TÚNELES.

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.

570.2 CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES.

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.

Los túneles largos deberán 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 metros antes y después de la entrada y salida.

Para el alumbrado diurno y crepuscular, en túneles con tráfico en las dos direcciones, deberán 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.

Cada escalón contemplará un tramo de túnel de 50 metros de longitud, como mínimo, pudiendo alcanzarse hasta 200 metros, dependiendo de la limitación en la velocidad de los vehículos. El tramo central tendrá medidas concretas que dependerán de la longitud real del túnel.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

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.

Por razones de seguridad se debe tener alumbrado de emergencia en el caso de túneles de longitudes superiores a 100 metros, 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.

570.3 REQUISITOS PARA LA ILUMINACIÓN DE TÚNELES DURANTE EL DÍA.

a) 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.

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_{th}). El nivel de luminancia requerido en esta zona depende del nivel exterior (L_o), que en un día soleado puede alcanzar unas 8.000 cd/m^2 (Esta luminancia es equivalente a una iluminancia horizontal del orden de 100.000 luxes).
Figura 570.3 a.

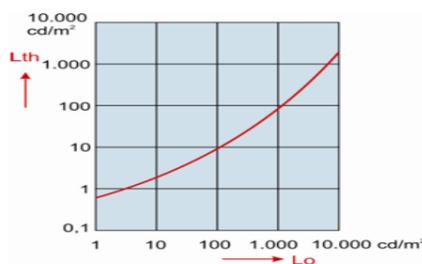


Figura 570.3 a. Nivel de iluminancia en túneles

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 570.3.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 570.3 b., según la norma CIE 88 de 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.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

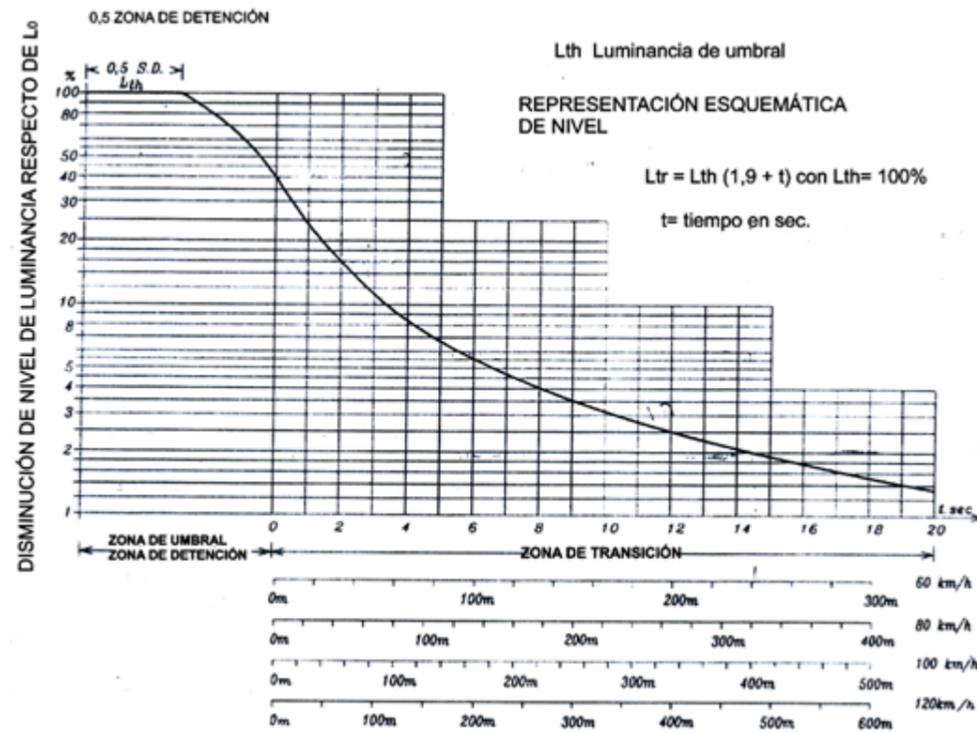


Figura 570.3 b. Gradiente de luminancia en el túnel (figura 6.6 de la norma CIE 88 de 2004)

b) 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 570-3.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.

c) 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 cd/m^2 , se dan en las tablas 570.3 c. y 570.3 d.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

Distancia de parada	TÚNELES LARGOS Caudal de tráfico	
	Bajo	Elevado
160 m	6	10
60 m	3	6

Tabla 570.3 c. Valores de luminancia en la zona interior (túneles largos)

Fuente CIE 88: 2004 tabla 6.7.1

Distancia de parada	TÚNELES MUY LARGOS Caudal de tráfico	
	Bajo	Elevado
160 m	2,5	4,5
60 m	1	2

Tabla 570.3 d. Valores de luminancia en la segunda parte de la zona interior (túneles muy largos)

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:

Caudal de tráfico (vehículos/hora/carril)	Tráfico unidireccional	Tráfico bidireccional
Elevado	>1.500	>400
Bajo	<500	<100

Tabla 570.3 e. Clasificación del caudal de tráfico

Fuente CIE 88:2004 tabla 6.7.3

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.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público**570.4 REQUISITOS PARA LA ILUMINACIÓN DE TÚNELES DURANTE LA NOCHE.**

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 es 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.

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, uniformidades y deslumbramiento de la carretera de acceso. La uniformidad durante la noche en los túneles satisfará los mismos requisitos que el alumbrado diurno.

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 cd/m^2 , la uniformidad global al menos del 40% y la uniformidad longitudinal al menos el 60%.

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.

570.5 VISIBILIDAD DENTRO DE UN TÚNEL ILUMINADO.

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.

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.

570.5.1 RESTRICCIÓN DEL EFECTO DE PARPADEO O "FLICKER".

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)

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. 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.

La frecuencia de flicker se calcula dividiendo la velocidad en m/s. por la separación entre luminarias

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

(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. 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.

570.5.2 GUÍA VISUAL DENTRO DE UN TÚNEL.

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 visual.

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. 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.

570.6 SISTEMAS DE ILUMINACIÓN DE TÚNELES.

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:

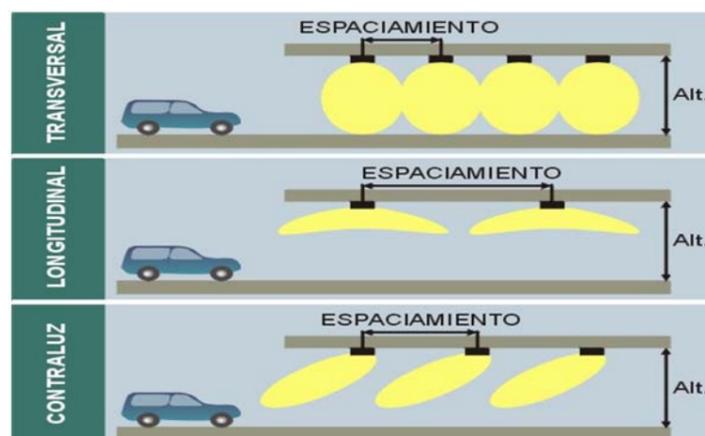


Figura 570.6. Tipos de luminarias para túneles, según su distribución luminosa

570.6.1 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

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

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.

570.6.2 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 bombillas de sodio 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 bombilla o accesorios de reducción de intensidad.

570.6.3 DISTRIBUCIÓN A 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.

570. 7 EQUIPOS PARA ILUMINACIÓN DE TÚNELES.

La localización y tipo de bombilla a utilizar en la iluminación de túneles depende del diseño específico del túnel. Las bombillas para la iluminación de túneles deben tener alta eficacia y larga vida

Las luminarias deben cumplir los siguientes requisitos:

- a. Robustas, con un riesgo mínimo de daño, tanto por el tráfico como por la limpieza.
- b. El grado de protección debe ser mínimo de IP 65 o su equivalente NEMA. de tal manera que permita lavarlas con agua a presión.
- c. De fácil acceso y mantenimiento.
- d. Propias para el control adecuado de la luminancia de la fuente luminosa.
- e. Provistas de prensaestopas para salida y entrada de cables, así como de los elementos de protección contra corto circuitos.
- f. Respecto de la distribución luminosa, debe ser tal que permita cumplir con los parámetros de iluminación exigidos para iluminar las diferentes zonas del túnel.
- g. Las luminarias deben tener una protección contra los impactos mínimo de IK 8

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público**570.8 CONTROL AUTOMÁTICO DEL ALUMBRADO DE TÚNELES.**

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.

El sistema de mando de los alumbrados, 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 bombilla de descarga, sea mayor de 3 minutos para las bombillas 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 L_{20° , como las debidas a nubes. Por el contrario, será preciso reaccionar con un retardo razonable a cualquier cambio rápido de L_{20° , provocado por la salida del sol o la puesta de sol detrás de los edificios sobre las montañas.

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 L_{th} / L_{20° elegido.

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).

570.9 RECOMENDACIONES ADICIONALES EN LA ILUMINACIÓN DE TÚNELES.

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.

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.

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

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

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

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 cd/m².

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 570.9.

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

Tabla 570.9 Iluminación de túneles peatonales

Fuente: Adaptado de IESNA RP.

SECCIÓN 575 CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.

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.

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.

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.

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. 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.

575.1 ORÍGENES DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.

La contaminación lumínica puede originarse por:

- a) La utilización de luminarias con globos sin reflector ó proyectores y luminarias que no controlan el flujo luminoso por encima de la horizontal..
- b) La inadecuada distribución del flujo luminoso de las luminarias en especial las ornamentales y proyectores.
- c) La falta de control sobre la iluminación decorativa en edificios, (anuncios publicitarios mal diseñados e instalados e inadecuados diseños de luminarias ornamentales.)

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

d) La reflexión de las vías y de los elementos que hacen parte del mobiliario urbano.

575.2 FORMAS DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.

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.

e) 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),

$$\text{Si } L_o > L_f \quad C > 0 \text{ contraste positivo (objeto mas claro que el fondo)}$$

En cambio un objeto más oscuro que su fondo, traerá un contraste negativo (variando entre 0 y -1).

$$\text{Si } L_o < L_f \quad C < 0 \text{ contraste negativo (objeto mas oscuro que el fondo).}$$

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:

$$C' = (L_o - L_v) - (L_f + L_v) / (L_f + L_v)$$

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.

575.3 CÁLCULO DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.

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:

$$\varphi \text{ Total} = ULOR + UWLR + Kr1 + Kr2, \text{ donde:}$$

Donde:

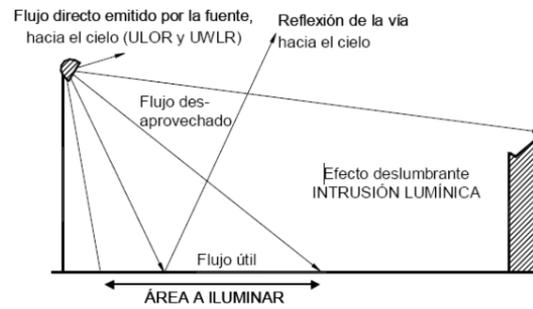
Kr1 Reflexión de la vía

Kr2 Reflexión de alrededores

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

ULOR Upward Light Output Ratio, es el porcentaje del flujo luminoso de la bombilla de una luminaria enviado sobre la horizontal.

UWLR Upward Waster Light Ratio, es el porcentaje del flujo luminoso de una luminaria enviado sobre la horizontal.



Otros conceptos que se deben tener en cuenta en el control de contaminación lumínica son:

EFFECTO DESLUMBRANTE (DIRECT GLARE): Pérdida de percepción visual ocasionada por exceso ó 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 bombilla), 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 bombilla), que se envía al área a iluminar (calzada, fachada, monumento, etc).

575.4 SISTEMA DE ZONIFICACIÓN.

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:

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

Tabla 575.4 Definición de zonas para la contaminación lumínica

Fuente Norma NTC 900 Tabla B.1.D

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público**575.5 FLUJO HEMISFÉRICO SUPERIOR (FHS).**

El Flujo Hemisférico Superior (FHS) se define como el flujo luminoso emitido por el equipo de iluminación (luminaria y bombilla) por encima del plano horizontal. Dicho plano corresponde al ángulo $\gamma = 90^\circ$ en el sistema de representación (C, γ). 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 M5, 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.

575.6 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 fotocontroles 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.

575.7 CÓMO MINIMIZAR EL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.

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.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

- 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.

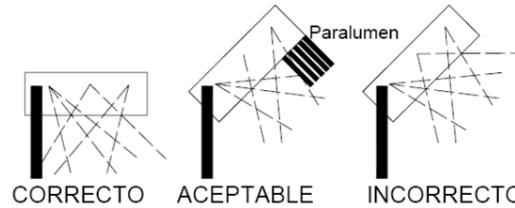


Figura 575.7.a) Control del flujo luminoso de proyectores

- 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.

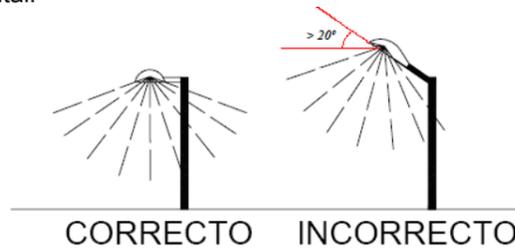


Figura 575.7.b) Ángulos de inclinación de las luminarias

- 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.

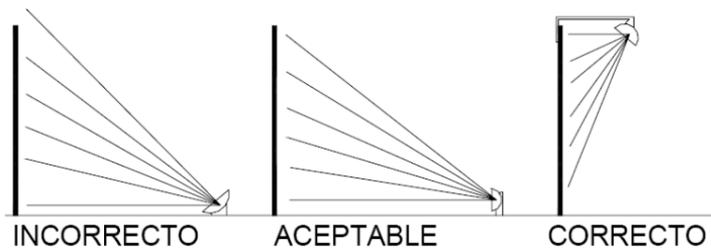


Figura 575.7.c) ángulos de inclinación de proyectores para iluminar una superficie vertical

- h) Eliminando las luminarias en forma de globo que no tengan reflector

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

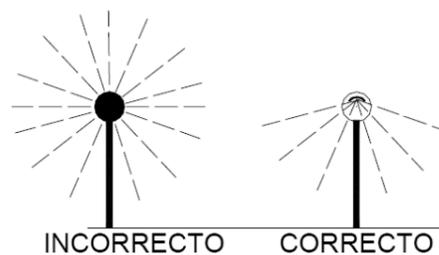


Figura 575.7.d) Control del flujo luminoso de luminarias esféricas o globos

- i) Utilizando los criterios de deslumbramiento indicados en la Norma CIE-115; 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.

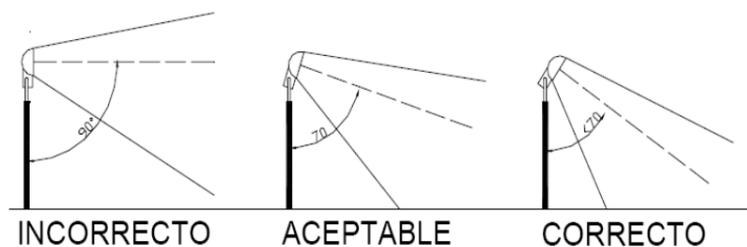


Figura 575.7.e) ángulos de inclinación de proyectores

- 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 que asegure 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, carriles bicicletas 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.

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.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

- ⇒ Si no existiera posibilidad de cambiar el sentido de iluminación hacia abajo, y no hacia arriba, emplear pantallas y para lúmenes 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 estos 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.

575.8 LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS DE EMISIÓN LUMÍNICA HACIA LOS CIELOS NOCTURNOS.

La cantidad máxima permitida de emisión lumínica hacia los cielos nocturnos, medida en el efluente de la fuente emisora, será la siguiente:

Flujo luminoso de la fuente	Límite de FHS
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)

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 si en las siguientes horas de la madrugada.

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:

- a. Puertos y aeropuertos e instalaciones vinculadas a vías férreas.
- b. Instalaciones y dispositivos de señalización de las costas marítimas

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

- c. Instalaciones de las Fuerzas Armadas y de cuerpos de seguridad.
- d. Vehículos motorizados
- e. En general, aquellas infraestructuras que comprometa la seguridad de los ciudadanos, el diseñador deberá documentar la justificación para apartarse del cumplimiento de estos requisitos.

575.9 MANEJO AMBIENTAL EN LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO.

Los proyectos de alumbrado público deberán tener en cuenta las reglamentaciones ambientales vigentes, en especial el Decreto 4741 de 1995 y demás disposiciones emitidas por la autoridad ambiental.

Merece especial atención la disposición final de fuentes luminosas con contenidos de sustancias contaminantes. Las cuales deben atender los lineamientos de la autoridad ambiental.

SECCIÓN 580 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO.**580.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO.**

Todo municipio debe establecer un sistema de información del alumbrado público bajo su responsabilidad.

El sistema de información de alumbrado público debe estar dividido en los siguientes componentes:

- a. El sistema de información del registro de atención de quejas, reclamos y solicitudes de alumbrado público.
- b. El concerniente al inventario de equipos de la infraestructura del servicio de alumbrado público estructurado como base de datos georreferenciada.
- c. Consumos, facturación y pagos de energía.
- d. Recaudos del servicio de alumbrado público.
- e. Recursos recibidos para financiamiento de expansión o modernización de la infraestructura de servicio de alumbrado público, identificando su fuente.

Los municipios que tengan registrados en su base de datos de infraestructura del Servicio de Alumbrado Público más de cinco mil (5.000) puntos luminosos, deberán disponer de un sistema de consulta a través de la WEB con la información de Alumbrado Público, en las áreas operativa y de atención al Cliente

Esta herramienta deberá permitir la sistematización de la información de manera ordenada y funcional, garantizar la conservación de la base estadística, respondiendo a las necesidades de información, tanto de las entidades municipales como de terceros autorizados, derivada de la ejecución de actividades del operador y de la interventoría.

580.1.1 OBJETIVOS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO.

Será una herramienta para facilitar la administración, operación y mantenimiento eficaz y eficiente del servicio de Alumbrado Público y debe cumplir con los siguientes objetivos:

- a. Ser el centro de acopio de la información de los reportes de quejas y reclamos del servicio, así como de las repuestas y seguimiento a las mismas.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

- b. Disponer de información actualizada, gráfica y de base de datos, conforme a las labores de modernización, expansión y mantenimiento de la infraestructura de alumbrado público; así como de las quejas y reclamos del servicio de alumbrado público.
- c. Facilitar la supervisión de la actualización del inventario de la infraestructura para la prestación del servicio de alumbrado público y el seguimiento de la atención de las quejas y reclamos del servicio.
- d. Evaluar los índices de calidad del servicio y soportar las penalizaciones en función de los criterios previamente establecidos entre el municipio y el operador del servicio de alumbrado público.
- e. Las demás que establezca el municipio o el responsable de la prestación del servicio.

Los resultados de las inspecciones realizadas por la interventoría a la infraestructura de alumbrado, así como las diferentes quejas y reclamos presentadas por los usuarios, deben ser almacenados en una Base de Datos, la cual servirá de base para definir los programas tanto puntuales como periódicos de mantenimiento a realizar por el operador.

Se deben registrar las fechas y eventos relacionados con fallas y diagnóstico, acciones correctivas y/o preventivas y demás aspectos que agreguen valor al Sistema de Información de Alumbrado Público.

La base de datos que se utilice para el registro de quejas y reclamos deberá contener como mínimo los siguientes registros planteados en la Tabla 580.1.1:

FUENTE	CAMPOS
USUARIO: Quejas y reclamos	Tipo de queja o solicitud –descripción- Ubicación Fecha, hora Acción tomada por el Operador
INTERVENTORÍA Del servicio de alumbrado público Informes	Tipo de informe Fecha Período del informe Aspectos evaluados Cumplimiento de los Índices objetivo establecidos Costos de operación del período evaluado Recomendaciones Compromisos para el siguiente período

Tabla 580.1.1 Registro de quejas, reclamos y solicitudes

La Interventoría en relación con el mantenimiento del sistema de alumbrado público deberá verificar la realización de los programas de mantenimiento correctivo y preventivo.

580.1.2 INFORMACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE ALUMBRADO PÚBLICO

La información de la infraestructura de alumbrado público debe cumplir con los siguientes objetivos:

- a. Permitir el control del inventario de la infraestructura del servicio de alumbrado público del municipio. La información será la correspondiente a la infraestructura existente incluida la relacionada con todos los componentes del sistema de alumbrado público. En terreno cada luminaria debe estar marcada e identificada con un número único de rótulo registrado en la base de datos de la infraestructura del sistema de alumbrado público.
- b. Facilitar el seguimiento a las labores de expansión, operación y mantenimiento, de forma tal que permita determinar índices de calidad.
- c. Facilitar la gestión del Operador del sistema de alumbrado público en sus labores de administrar, operar y realizar el mantenimiento técnico. En el mismo sentido debe permitir el control por parte de la interventoría.
- d. Informar sobre la ubicación geográfica de cada punto luminoso a través de un sistema georreferenciado. La información incluida debe ser tal que permita realizar las acciones de mantenimiento y control.
- e. Apoyar la toma de decisiones en el área de la iluminación pública del municipio.

En este sistema se deben identificar los siguientes componentes de la infraestructura:

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

- a. Luminarias: tipo de fuente lumínica, potencia y tipo de luminaria, tipo de balasto y su valor de pérdidas, control de encendido (múltiple o individual), tipo de espacio iluminado (parque, tipo de vía, senderos peatonales, zonas verdes, campos deportivos, ciclovía, etc.), identificación del transformador de distribución al cual están conectadas
- b. Estructuras de soporte o poste: De uso exclusivo o compartido con red de uso general. Tipo de material, longitud.
- c. Red de alimentación: De uso exclusivo o compartido con red de uso general. Tipo de material, calibre de conductores, tipo de instalación (aérea o subterránea).
- d. Canalizaciones: De uso exclusivo o compartido con red de uso general, cajas de inspección y ducterías, Tipo de zona (dura, verde o cruce de calzada)
- e. Transformadores: De uso exclusivo o compartido con red de uso general, tipo aéreo, local, pedestal o subterráneo.

El sistema de información debe permitir para cada luminaria, con su número de rótulo, la identificación del transformador de distribución al cual está conectada. En el mismo sentido cada transformador debe permitir identificar el circuito de media tensión que los alimenta, con el fin de poder analizar valores de los índices de calidad del servicio de energía, DES y FES que el Operador de Red le entrega a la Superintendencia de Servicios Públicos. Tal información deberá usarse para establecer el monto de la energía a descontar o compensar por calidad del servicio; así como la energía que se descuenta por no haber sido suministrada por interrupciones en los circuitos de media tensión, en el caso de fallas o de las salidas programadas o por causas imputables al Operador de Red.

580.2.MANTENIMIENTO.

La administración municipal, deberá establecer las políticas para que en la operación y el mantenimiento del sistema de Alumbrado Público se cumpla con la materialización de las acciones y condiciones controlables que sirvieron de base para calcular el factor de mantenimiento (esquema de mantenimiento). En el mismo sentido deberá exigir el cumplimiento de los niveles de iluminación mínimos mantenidos contemplados en el presente reglamento

Frente al reporte de una falla, con base en los procedimientos establecidos y aprobados por el municipio, el operador del servicio debe definir su grado de criticidad, y proceder a tomar las acciones correctivas de acuerdo con su escala de prioridades. Mediante el control y seguimiento del comportamiento de los diferentes componentes del alumbrado público, se deben identificar, registrar y clasificar los tipos de daños frecuentes y esporádicos que se presentan, así como las causas que los generan.

El operador debe identificar y clasificar los daños, y establecer la planeación y programación del mantenimiento. Se deben examinar y analizar las diferentes causas de deterioro y depreciación de las obras de iluminación pública para extraer conclusiones relativas a:

- ⇒ Las características que se deben exigir a los nuevos materiales empleados.
- ⇒ Los métodos de mantenimiento más convenientes para las diferentes categorías de instalaciones.

Las bombillas de descarga de alta intensidad, como la bombilla de vapor de sodio alta presión, utilizadas en Alumbrado Público deberán cambiarse cuando la emisión del flujo luminoso haya descendido al setenta por ciento (70%) de su valor inicial.

580.2.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

El mantenimiento preventivo debe determinar las acciones para evitar o eliminar las causas las fallas potenciales del sistema y prevenir su ocurrencia, mediante la utilización de técnicas de diagnóstico y administrativas que permitan su identificación.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

Dentro de las técnicas de diagnóstico se deben considerar:

- a. Las mediciones eléctricas en diferentes puntos de la red de los perfiles de tensión, niveles de armónicos
- b. La medición de los parámetros eléctricos de operación de las luminarias y sus componentes
- c. Las mediciones fotométricas deben permitir obtener parámetros como Uniformidad general de niveles de luminancia/Iluminancia de la calzada (U_o), Uniformidad longitudinal sobre la calzada (U_L), que permitan medir la calidad de la iluminación.

Estas rutinas de inspección se deben ejecutar a través de grupos de Inspección con equipos y elementos adecuados.

Para programar los trabajos de mantenimiento en una vía se deben comparar los valores de iluminación medidos en la vía con los valores de iluminación promedio mantenida requeridos de acuerdo a la clase de iluminación asignada a la vía.

Con la aplicación del esquema de mantenimiento de diseño de la instalación de alumbrado público, el operador debe proceder a efectuar los trabajos de mantenimiento preventivo de limpieza del conjunto óptico de la luminaria o hacer un reemplazo en grupo de todas las bombillas que tengan el mismo tiempo de instalación, es decir cuando lleguen al final de su vida útil (70% flujo luminoso nominal).

El operador del servicio de alumbrado público en cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo debe hacer seguimiento a cada uno de los componentes del sistema de alumbrado público. Para el efecto realizará mediciones en terreno para determinar niveles de iluminancia mínima mantenida y en banco de pruebas de flujo luminoso de bombillas retirando muestras estadísticamente representativas de la población como referencia (lote), para determinar la muestra podrá utilizar la norma NTC ISO 2859 parte 1 Planes de muestreo determinado por el nivel aceptable de calidad (NAC o AQL) para inspección lote a lote.

Un banco de pruebas del flujo luminoso de bombillas puede consistir en una caja negra dotada de una fotocelda a la cual se le mide la corriente. La resistencia del circuito eléctrico con la fotocelda es inversamente proporcional a la iluminancia dentro de la caja negra, este efecto permite estimar el valor del flujo luminoso de la bombilla mediante un miliamperímetro, para un valor de tensión de alimentación preestablecido. Para cada potencia de bombilla debe existir una caja negra, las cuales deben ser calibradas cada año en un laboratorio de iluminación acreditado.

Cuando se ha realizado el cambio masivo, algunas de las bombillas retiradas de terreno dispondrán de vida útil y podrán ser usadas en los trabajos de mantenimiento correctivo, y para ello la clasificación de las bombillas se podrá hacer mediante la caja negra.

La periodicidad con la cual se adelanten las labores de muestreo será determinada por la interventoría para obtener una mejor trazabilidad de cada uno de los componentes de la infraestructura del sistema de alumbrado público y su incidencia en el plan de mantenimiento preventivo.

Todos estos elementos deben ser analizados y tenidos en cuenta en la elaboración de un programa de mantenimiento preventivo, incluyendo la evaluación económica. El programa debe ser elaborado por el operador del servicio de alumbrado y aprobado por la interventoría, teniendo en cuenta:

a) Reemplazos masivos de bombillas. La reposición programada de bombillas tiene por objeto mantener las instalaciones de alumbrado dentro del nivel proyectado. Las bombillas que se retiren deben ser entregadas al responsable técnico de la instalación, quien debe elegir aquellas que desee estudiar con el fin de determinar si existen causas anormales que provoquen su rápido envejecimiento.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

Si el flujo emitido por un número significativo de las bombillas retiradas, en la reposición en grupo, fuese inferior al previsto, se debe evaluar la continuidad de uso del tipo de bombilla por la marca, lote o la referencia.

No obstante lo anterior, no se debe descartar el mantenimiento correctivo puntual, debido a que hay bombillas defectuosas que no cumplen su vida útil, siendo necesario reemplazarlas. Para garantizar la confiabilidad y calidad del servicio de alumbrado público, en este caso se podrán utilizar las bombillas retiradas en cambios masivos anteriores, seleccionadas por disponer aún de vida útil.

b) Operaciones de limpieza de luminarias y soportes. Se debe efectuar de forma programada en concordancia con el esquema de mantenimiento previamente establecido, teniendo en cuenta el grado de hermeticidad de la luminaria y el nivel de contaminación de su sitio de instalación. La limpieza de luminarias se debe realizar tanto interior como exteriormente, con una metodología que permita que tras ésta se alcance un rendimiento mínimo del 80 % inicial. Este rendimiento se comprobará midiendo la iluminancia, tras la ejecución de la correspondiente limpieza. Al mismo tiempo que se hace limpieza, se debe efectuar una inspección visual del sistema óptico y del estado de todos los componentes de la luminaria.

El reemplazo de bombillas en grupo, se debe realizar de día y, de esta manera, minimizar la exposición del personal ya que no es necesario trabajar con el servicio de alumbrado operando y los peligros que implica el tráfico nocturno. De otra parte se evita la incomodidad al vecindario con el ruido de máquinas, trinquetes de las escaleras, etc.

Se deben aprovechar los trabajos de reemplazos en grupo, para realizar todo el mantenimiento de las funciones de la bombilla y la luminaria, es decir:

- a. Enfoque correcto de la bombilla
- b. Limpieza de la luminaria, y particularmente del sistema óptico
- c. Revisión del equipo auxiliar
- d. Revisión de las partes mecánicas de la luminaria.

580.2.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

Consiste en localizar, reparar y adecuar las instalaciones para que funcionen el máximo número de horas posible, con el desempeño para el que fueron diseñadas.

Cuando se detecten deficiencias en los rangos de variación de tensión en el servicio de energía eléctrica, se debe contemplar la medición puntual de la tensión mediante la instalación de registradores de tensión, en las cabeceras y finales de circuito de alumbrado, para verificar los rangos de variación de los valores de tensión en las diferentes horas de funcionamiento del servicio de alumbrado y su comparación con las condiciones normales de funcionamiento de las bombillas.

Para la ejecución del mantenimiento correctivo es importante tener en consideración los siguientes aspectos, principalmente en lo que tiene que ver con bombillas y luminarias:

- a. Reemplazar las bombillas y, en donde sea necesario, los equipos auxiliares y cerciorarse que el casquillo de la bombilla esté perfectamente adaptado al portabombilla (por ejemplo, evitando la confusión entre los portabombilla E39 (Mogul) y E40).
- b. Revisar el encendido y apagado y el correcto funcionamiento del dispositivo de encendido para alumbrado público, detectar fallas eléctricas y daño accidental.
- c. Limpiar las bombillas, el conjunto óptico de las luminarias
- d. Realizar el mantenimiento mecánico y eléctrico (accesorios de alumbrado y sistema de distribución).
- e. Coordinar con las entidades municipales competentes la poda de los árboles circundantes a los equipos de iluminación, para despejar el cono de intensidad máxima de cada luminaria

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

580.2.3 CÁLCULO DEL FACTOR DE MANTENIMIENTO.

Las condiciones de conservación y mantenimiento de la instalación de iluminación configuran un parámetro de gran incidencia en el resultado final de un proyecto de alumbrado público, denominado factor de mantenimiento de la instalación F_M y debe calcularse con la metodología adoptada de la IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) que considera la valoración de ocho efectos, cuyo producto dará como resultado el factor de mantenimiento de la instalación de alumbrado público (F_M).

El análisis de cada uno de estos efectos dará como resultado un valor que puede ser uno (1), si las condiciones son óptimas y menor que 1, en la medida que no lo sean. Los efectos pueden ser controlables o no controlables, como se aprecia en la Tabla 580.2.3

El factor de mantenimiento está dado por:

$$F_M = Enc \times F_E \times DLB \times R \times F_b$$

En donde:

F_M	Factor de mantenimiento de la instalación
Enc	Efectos no controlables
F_E	Depreciación de la luminaria por ensuciamiento
DLB	Depreciación por descendimiento del flujo luminoso de la bombilla
R	Reemplazo de la bombilla
F_b	Factor de balasto

Sin embargo, algunos elementos de Factores por efectos no controlables (Enc) y Factores de reemplazo de las bombillas (R) se encuentran en estudio, por lo que no serán considerados en el presente Reglamento para la definición del factor de mantenimiento.

En consecuencia el factor de mantenimiento será el resultante de la fórmula $F_M = F_E \times DLB \times F_b$. Para calcular los parámetros se debe tener en cuenta los siguientes aspectos.

Efectos no controlables en la operación	1	Efectos ambientales, como condiciones atmosféricas (temperatura, humedad)
	2	Variaciones abruptas de tensión
	3	Depreciación de la luminaria debido al envejecimiento y a la degradación de sus materiales
	4	Variación de las características de reflexión de la calzada (F_R)
Efectos controlables	5	Depreciación del flujo luminoso de la bombilla (DLB)
	6	Factor de balasto
	7	Reemplazo de las bombillas (R)
	8	Depreciación de la luminaria por ensuciamiento dentro y fuera del conjunto óptico (F_E) Ke: Factor de depreciación debido a la acumulación de suciedad por fuera de la luminaria. Ki: Factor de depreciación interno debido a la acumulación de suciedad dentro de la luminaria. Kp: Factor de depreciación permanente debido al envejecimiento y a la degradación del material en el conjunto óptico

Tabla 580.2.3 Aspectos a considerar en el cálculo del factor de mantenimiento F_M del A.P.

a) Efectos ambientales. Las variaciones de la temperatura dentro de una luminaria dependen de los cambios climáticos tanto estacionales como diarios, así como del encendido y apagado de la bombilla. Estas diferencias de la temperatura interior pueden alcanzar cifras muy altas. Las máximas se presentan en luminarias cerradas e instaladas en zonas cálidas. Para reducir este efecto ambiental se debe tener en cuenta en cuenta lo siguiente.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

- ⇒ En zonas cálidas utilizar luminarias herméticas y equipo auxiliar, (conductores, fusibles, aisladores, etc.), fabricados con materiales completamente tropicalizados, es decir resistentes al calor excesivo, humedad y moho.
- ⇒ Para fuentes de alta potencia, y en general para todas las fuentes que liberen una gran cantidad de energía térmica, utilizar luminarias que tengan el volumen interior del conjunto óptico y del conjunto eléctrico, de tal manera que se cumplan los requisitos de producto establecidos en el presente reglamento, respecto a los límites de variación de tensión de operación de la bombilla dentro y fuera del conjunto óptico.
- ⇒ Para cada categoría de fuente luminosa, utilizar únicamente los modelos de luminarias diseñados específicamente para esa categoría y potencia.
- ⇒ Para luminarias cerradas no herméticas se debe disponer de un sistema de evacuación del agua de condensación.

b) Variaciones abruptas de la tensión. Una tensión en los terminales de las bombillas, no conforme con la prevista, ocasiona una variación apreciable en el flujo luminoso emitido. La variación de tensión en los terminales de la bombilla depende de la variación de tensión de la fuente de alimentación y de la capacidad de regulación de la tensión que tenga el tipo de balasto utilizado en la luminaria.

El diseñador debe consultar con el operador de la red el comportamiento de las variaciones de tensión en los circuitos alimentadores de media tensión cuando se considera la instalación de transformadores exclusivos para alumbrado público, o las variaciones en la red de baja tensión cuando se usan las redes de uso general en baja tensión.

En todo caso el diseñador deberá dejar constancia del análisis realizado y de las especificaciones dadas en consideración con las variaciones posibles de tensión que se presenten en los circuitos de alimentación.

Cuando un proyecto o sistema se encuentre en operación, el operador del sistema de alumbrado público en conjunto con el operador de la red deberán evaluar el comportamiento de las variaciones de tensión de alimentación y definir las acciones y correcciones a realizar con el fin de obtener un comportamiento cercano a las condiciones de operación de diseño de tensión de las bombillas.

c) Depreciación de la luminaria por envejecimiento y degradación. La rapidez y severidad de la acumulación de polvo en las fuentes luminosas y luminarias varía considerablemente con el tipo y construcción de la luminaria (abierta o cerrada), la altura de montaje y sobre todo con el grado de humedad y polución de la atmósfera del ambiente, el cual depende a su vez, de otros factores (volumen y naturaleza del flujo de tráfico, clima, trayectoria del viento, ubicación de la instalación, etc.) que producen un envejecimiento y degradación de todos los materiales que conforman los sistemas de iluminación pública.

d) Variaciones de las características de reflexión de la calzada (FR). Las propiedades de reflexión de las superficies de la calzada cambian paulatinamente con su utilización. Este cambio que no es constante a lo largo de toda la superficie, es significativo en los inicios de la utilización de la calzada y después decae. El cambio de las propiedades de reflexión se produce por:

- ⇒ Acumulación de suciedad y polvo atmosférico
- ⇒ Diferencia de carga y peso de los vehículos
- ⇒ Mayor o menor utilización de los carriles de circulación
- ⇒ Flujo vehicular
- ⇒ Calidad de los materiales utilizados en la construcción de la calzada
- ⇒ Condiciones atmosféricas: temperatura, humedad, frecuencia de las lluvias, características de polución del ambiente.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

Este factor debe considerarse únicamente cuando se tenga un buen conocimiento de las superficies de las calzadas lo cual se logrará a través de una serie de mediciones que se efectúen sobre las calzadas de las vías.

e) Depreciación del flujo luminoso de la bombilla (DLB). La influencia de la depreciación en la frecuencia de sustitución de las bombillas debe considerarse para mantener ciertas condiciones mínimas de iluminación durante la vida útil de la instalación.

Los fabricantes de bombillas deben suministrar la información de la reducción del flujo luminoso de los distintos tipos de bombillas y las diferentes potencias obtenidos bajo condiciones de funcionamiento controladas. El diseñador deberá tener en cuenta tales condiciones para especificar el tipo de conjunto eléctrico necesario para cada tipo de fuente luminosa propuesta y plantear el esquema de mantenimiento.

Los operadores del servicio de alumbrado público deberán crear y alimentar las bases de datos que les permitan determinar la depreciación y vida útil real de las bombillas por marcas, tecnología, potencia y condiciones del sitio de instalación.

En lo posible los operadores deberán, mediante muestras, hacer pruebas para verificar condiciones iniciales y durante la operación de las fuentes luminosas, tales como tensión de bombilla y flujo luminoso.

Al finalizar periodos de 4 años a partir de la entrada en vigencia del presente reglamento, los operadores del servicio de alumbrado público evaluarán los datos del comportamiento real de las bombillas y presentarán a la industria por intermedio del comité técnico de normalización de iluminación las sugerencias para que se realicen los ajustes pertinentes y a este Ministerio para que se hagan los ajustes al reglamento.

f) Factor de reemplazo de bombillas (R). En alumbrado público el factor de reemplazo de la bombilla estará determinado por la vida útil (70% del flujo luminoso nominal). Por diversas circunstancias, algunas bombillas terminan su vida antes de lo esperado, y dado que existen necesidades de optimizar el mantenimiento de las instalaciones de alumbrado público, se deben considerar las características de depreciación y mortalidad de la bombilla, para establecer un cronograma de reemplazo.

En alumbrado industrial y comercial el factor de reemplazo de la bombilla podrá ser establecido con base en un estudio de vida económica. La vida económica de una bombilla es el periodo de tiempo, expresado en horas, que transcurre hasta cuando la relación entre el costo de reposición y el costo de lúmenes-hora que sigue produciendo la fuente no es económicamente favorable. La vida económica depende, por consiguiente, del costo de las fuentes luminosas, del costo de la mano de obra para el cambio y del costo de la energía eléctrica.

El factor de cambio de bombilla (R) se determinará a partir de los registros de información alimentados por el operador del alumbrado público y por lo tanto deberá verificar su continuidad y pertinencia. Todo programa de modernización de alumbrado público, entendido como cambio de luminarias de vapor de mercurio por vapor de sodio, deberá tener implementado en el sistema de información de alumbrado público su base de datos, en la cual se deben registrar, como mínimo, los siguientes datos:

Marca; Tecnología; Potencia; Fecha de instalación; Sitio de instalación (georeferencia); Tipo de área iluminada (vía tipo, peatonal, zona verde, parque campo deportivo, cicloruta, etc.); Intervenciones de mantenimiento del punto instalado desde la fecha de la modernización.

g) Depreciación por ensuciamiento, factor de ensuciamiento (FE). La acumulación de suciedad en el conjunto óptico de las luminarias afecta el rendimiento y, por lo tanto, disminuye los niveles de iluminación de una instalación de alumbrado público. La rapidez y severidad de la acumulación de suciedad varía de acuerdo con las condiciones existentes en el sitio de la instalación y las propiedades de hermeticidad de la luminaria.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

El diseñador y el responsable del alumbrado público de acuerdo con las características del sitio de la instalación determinarán la categoría de contaminación aplicable al proyecto de alumbrado, de acuerdo con la Tabla 580.2.3 b se clasificará y se determinará el índice de hermeticidad (IP) o su equivalente NEMA de la luminaria propuesta en el diseño, se deberá determinar el F_E .

Categoría	Descripción	Nivel de partículas	Observaciones
I	Ambientes poco polucionados	Bajo Menor $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$	No existen actividades generadoras de polvo o humos en la cercanía, tráfico ligero, generalmente limitado a áreas residenciales o rurales
II	Ambientes medianamente polucionados	Medio $80 - 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Existen actividades generadoras de polvo o humos en la cercanía, tráfico pesado, generalmente limitado a áreas residenciales e industriales ligeras.
III	Ambientes muy polucionados y zonas industriales	Alto $150 - 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Existen actividades generadoras de nubes de polvo o humos en la cercanía, que pueden envolver ocasionalmente las instalaciones. Áreas altamente industriales
IV	Ambientes excesivamente polucionados	Excesivo Superior a $400 \mu\text{m}^3$	Como la categoría anterior pero las instalaciones están envueltas en humo y polvo

Tabla 580.2.3 b. Clasificación de los niveles de contaminación

h) Relación entre el factor de ensuciamiento y el índice de hermeticidad: La cantidad de suciedad acumulada depende del grado de hermeticidad del conjunto óptico y del ambiente en el cual se instala la luminaria. El diseñador para calcular el factor de mantenimiento y establecer la curva del esquema de mantenimiento de la instalación del proyecto de alumbrado público debe considerar los periodos máximos de limpieza del conjunto óptico de la luminaria establecidos en la Tabla 580.2.3 c., periodos que en la etapa de operación deberán aplicarse por parte del operador del sistema.

Categoría		Nivel de partículas	Periodo de limpieza (meses)
I	Ambientes poco polucionados	$< 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$	36 o cambio de bombilla
II	Ambientes medianamente polucionados	$80 - 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$	24
III	Ambientes muy polucionados y zonas industriales	$150 - 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$	12
		$300 - 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$	6
IV	Ambientes excesivamente polucionados	$400 - 600 \mu\text{g}/\text{m}^3$	6
		$> 600 \mu\text{g}/\text{m}^3$	3

Tabla 580.2.3 C Periodos máximos para realizar limpieza del conjunto óptico de luminarias

Fuente: Adaptación norma NTC 900 Tabla 18

1. Clasificación con relación la protección contra entrada de cuerpos sólidos y agua. (grado de hermeticidad IP o su equivalente NEMA). En las especificaciones de las luminarias se debe tener en cuenta el tipo de protección y el grado de hermeticidad requerido de acuerdo con las condiciones ambientales del sitio de instalación.

Las luminarias deben cumplir con un grado de hermeticidad específico, para el conjunto eléctrico y otro para el conjunto óptico, definidos de acuerdo con la clasificación usada por el "Código IP": o su equivalente NEMA. El Índice Ip y el Índice IK se escogen de acuerdo con las condiciones ambientales. La tabla 580.2.3.d muestra los diferentes grados de protección IP e IK

Las luminarias están clasificadas, por medio de los Códigos **IP** (*International Protection Code*) o su equivalente NEMA, que es un sistema de códigos para indicar los grados de protección provistos por un encerramiento, contra la entrada de polvo y de agua.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

Los códigos IP se identifican con dos dígitos que indican los grados de protección. El primer dígito, indica la protección del equipo contra la entrada de cuerpos extraños sólidos. Corresponde al primer número y comprende siete grados, desde el grado 0, sin protección; hasta el grado 6, totalmente protegido contra polvo.

El segundo dígito, indica la protección del equipo dentro de la cubierta contra entrada de agua. Corresponde al segundo número y comprende nueve grados, desde el grado 0, sin protección; hasta el grado 8, protegido contra los efectos prolongados de inmersión bajo presión.

2. Clasificación con relación a la protección mecánica contra choques de cuerpos sólidos (índice Ik). Las luminarias se clasifican por medio de Códigos IK, cuyo objetivo es indicar el grado de protección provisto por un encerramiento o envoltente de materiales eléctricos contra el impacto o choque mecánico externo, como se presenta en la Tabla 580.2.3 d. .

El IK se identifica con un número que comprende once grados que van desde el grado 00 –sin protección, hasta el grado 10, para energía de choque de 20,0 J. equivalente al impacto de una masa de 5 kg, en caída libre a una distancia de 40 cm.

ÍNDICE IP				ÍNDICE IK	
Primera cifra		Segunda cifra			
IP	Protección contra cuerpos sólidos	IP	Protección contra Líquidos	IK	Protección contra el impacto Energía de Impacto (JOULES)
0	Sin protección	0	Sin protección	0	No protegido
1	$\Phi \geq 50$ mm (Contactos involuntarios)	1	Caída vertical de gotas de agua	0 1	0,15
2	$\Phi \geq 12$ mm (Contactos involuntarios)	2	Caída de agua hasta 15° de la vertical	0 2	0,20
3	$\Phi \geq 2,5$ mm (Herramientas cables)	3	Agua lluvia hasta 60° de la vertical	0 3	0,35
4	$\Phi \geq 1$ mm (herramientas finas - cables)	4	Proyección de agua en todas las direcciones	0 4	0,50
5	Protegido contra polvo	5	Lanzamiento de agua en todas las direcciones	0 5	0,70
6	Totalmente protegido contra polvo	6	Lanzamiento de agua similar a los golpes de mar	0 6	1,00
		7	Inmersión	0 7	2,00
		8	Efectos prolongados de inmersión bajo presión	0 8	5,00
				0 9	10,00
				1 0	20,00

Tabla 580.2.3 d. Grados de hermeticidad y protección contra el impacto

Fuente: Norma UNE-EN 50102 de 1996

Las luminarias clasificadas como "a prueba de agua", no necesariamente son aptas para operación bajo agua. En tales casos, debe usarse las luminarias clasificadas "a prueba de agua bajo presión."

En la Tabla 580.2.3 e. se presentan los valores del factor de ensuciamiento según el índice de protección IP del conjunto óptico de la luminaria y de la categoría de contaminación.

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

Tipo de vía o clase de iluminación	Nivel de contaminación	Índice de hermeticidad (IP) de la luminaria	Periodo, en meses, de limpieza del conjunto óptico de la luminaria	Factor de Ensuciamiento F_E
Avenidas en el centro de algunas ciudades (*)	IV	6X (a)	6	0,91
		6X (b)	6	0,93
M2 y M3	III	6X (a)	12	0,91
		6X (b)	12	0,93
M4 y P1 a P3	II	6X (a)	24	0,89
		6X (b)	24	0,91
M5, P4 a P7 y parques	I	6X (a)	36 o cambio de la bombilla	0,90
		6X (b)		0,95

Tabla 580.2.3 e. Factores de ensuciamiento de las Luminarias, Según el nivel de polución, índice de hermeticidad y el período de limpieza utilizado

Notas: (a) - Cierre del conjunto óptico mediante ganchos u otros elementos que cumplan esa función.

(b) - Conjunto óptico completamente sellado.

(*) Para avenidas del centro de algunas ciudades con categorías de contaminación I o II el factor de ensuciamiento es el mismo pero con un periodo de limpieza cada 12 meses.

Para la clasificación de las luminarias, consultar las normas IEC 60529 y 60598 para IP y EN-50102 para el grado IK

g) Factor de Balasto (FB). Para los balastos de bombillas o de lámparas fluorescentes el factor de balasto se define como la relación entre el flujo luminoso de la bombilla funcionando con el balasto de producción y el flujo luminoso de la misma bombilla funcionando con el balasto de referencia

$$F_b = (\text{Flujo de la bombilla con balasto de producción}) / (\text{Flujo de la bombilla con balasto de referencia})$$

El diseñador debe tomar los factores de balasto suministrados por el fabricante dentro de la información de certificación del producto.

Para las bombillas de descarga de alta intensidad (HID) el factor de balasto, no está normalizado. Bajo la consideración que el balasto debe garantizar las condiciones nominales de funcionamiento de la bombilla se podría aproximar tal factor a 1; No obstante, el diseñador deberá usar la información garantizada por el fabricante del balasto para el equipo especificado o valerse de ensayos de laboratorio para determinar el factor de balasto aplicable.