



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN
DE LA NOM-013-ENER-2004

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO
P R E S E N T A N

BENJAMÍN MARÍN FUENTES
JUAN CARLOS MARCELO ROCHA



DIRECTOR DE TESIS
ING. ALEX GUILLERMO RAMÍREZ RIVERO

MÉXICO, D.F. 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Agradezco especialmente **a mi madre, Isabel Fuentes**, por el gran amor que me tiene, el esfuerzo que ha hecho para sacarme adelante y los hermosos momentos que hemos pasado juntos; por ser un ejemplo de fortaleza, ya que a pesar de lo que ha vivido nunca se ha dejado vencer por las circunstancias; por mostrarme el camino para ser una persona responsable, humilde y honesta. Porque sin su apoyo incondicional no hubiera podido realizar esta tesis y culminar mi carrera.

A Gina por ser mi amor, mi compañera y mi cómplice, porque “codo a codo somos mucho más que dos”; por su confianza, paciencia e inspiración. Por motivarme a terminar este proyecto y por las horas de trabajo que aportó en su realización.

A mi hermano Noé por todos los momentos que compartió conmigo durante mi infancia, por enseñarme a ser crítico y a poner toda mi capacidad y esfuerzo en lo que hago. **A mi hermana Adriana** por el gran cariño que me brindó desde que nací y por llevarme con ella a todos lados cuando era niño. **A mi hermana Verónica** por las “choco aventuras” que hemos pasado juntos. **A mi padre** por sus cuidados y compañía. **A mi tío Chucho** por inculcarme el gusto por los números. **A mis sobrinitas Sophia, Maya, Ixchel y Naxca**, por el cariño que me tienen y las sonrisas que me han robado.

Al Ing. Alex Ramírez, por sus enseñanzas en el aula y en la oficina, por la confianza que depositó en mí desde que llegué a Genertek y por su apoyo en la elaboración de esta tesis.

A mis amigos, que a veces puedo tener un poco olvidados pero que les tengo un gran aprecio, especialmente **a Edgar, Juan Carlos, Julio, Víctor, Melisa, Jorge, Alicia y Sayuri**.

A los maestros que he tenido en mi travesía como estudiante, particularmente a aquellos que verdaderamente se comprometen y apasionan con la enseñanza y el conocimiento.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, particularmente a la Facultad de Ingeniería y a la Preparatoria No. 6, por abrirme sus puertas y haberme formado como una persona analítica, ávida de conocimiento y comprometida con la sociedad y mi país.

A la vida y a Dios por todo lo que me han dado...

Benjamín Marín Fuentes

Agradecimientos

*La realización de este trabajo hubiese sido imposible sin el apoyo de las personas más valiosas en mi vida, por ello es para mí un verdadero honor **dedicar este trabajo a mi familia**, como un símbolo de gratitud por el amor incondicional que siempre me han manifestado. De este modo quiero agradecer:*

***A mi Padre Juan Marcelo**, por legarme un apellido limpio y digno, por su ejemplo de lucha y honestidad, por mostrarme su fortaleza exterior y a la vez su dulzura interior, pero sobre todo por ser mi consejero y amigo.*

***A mi Madre Magdalena Rocha**, por sus tantos sacrificios, por enseñarme a sonreír y soñar, por su ejemplo de superación constante, pero sobre todo por brindarme su amor.*

***A mis hermanas, Patricia y Rocío** por darme una feliz infancia, ya que su sola existencia hizo de mí lo que soy. Gracias por cuidarme y por hacer de mí una persona feliz.*

***A Erika Franco**, por ayudarme a crecer como individuo y enseñarme a vivir de otra manera, siempre con paciencia y cariño. "Ahora entiendo que a tu lado siempre pertenecí".*

Quiero extender mi agradecimiento al Ing. Alex Ramírez por su dirección y paciencia durante la tesis. De igual forma agradezco sus consejos, sus enseñanzas y la confianza al darme mi primera oportunidad profesional.

Asimismo quiero agradecer a Benjamín por su sincera amistad y por los conocimientos heredados en nuestro paso por Genertek.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, particularmente a la Facultad de Ingeniería por el conocimiento adquirido en sus aulas.

Juan Carlos Marcelo Rocha

Introducción	1
I. Antecedentes generales	5
I.1 Nociones básicas de iluminación y ahorro de energía	8
I.1.1 Componentes de un sistema de iluminación	8
I.1.2 Conceptos y parámetros luminotécnicos	10
I.1.3 Conceptos y parámetros de eficiencia energética	19
I.2 Principales tecnologías de iluminación para alumbrado público	20
I.2.1 Sistemas de alta intensidad de descarga	20
I.2.1.1 Sistemas de vapor de sodio de alta presión	24
I.2.1.2 Sistemas de vapor de aditivos metálicos	25
I.2.2 Sistemas de inducción	27
I.2.3 Sistemas de LEDs	30
I.2.4 Sistemas de control	32
I.2.5 Sistemas de alumbrado público con energías renovables	33
I.3 Normatividad nacional e internacional en alumbrado público	34
I.3.1 Normas y recomendaciones internacionales	35
I.3.2 Normas nacionales	36
I.3.2.1 NOM-001-SEDE-2005	37
I.3.2.2 NOM-013-ENER-2004	39
I.3.2.3 NOM-028-ENER-2010	40
II. El paradigma de la medición de la luz	41
II.1 Sistema de fotometría actual	43
II.1.1 Función fotópica de eficacia luminosa espectral	45
II.1.2 Función escotópica de eficacia luminosa espectral	47
II.2 Sistemas de fotometría mesópica	49
II.3.1 Relación S/P	51
II.3.2 Sistema de la fotometría unificada	53
II.3.2 Modelo de fotometría mesópica basado en el desempeño visual	58
II.3.4 Sistema de fotometría mesópica de la Comisión Internacional de Iluminación	63

III.	Justificación de la actualización de la NOM-013-ENER-2004	71
III.1	Nuevo criterio para cuantificar los niveles de iluminación en alumbrado público	72
III.2	Avances en la industria de la iluminación	75
III.3	Deficiencias e inconsistencias de la normatividad nacional vigente	78
III.4	Justificación en el marco legal	82
IV.	Elementos de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004	83
IV.1	Contenido y estructura	83
IV.2	Elementos generales que introducen al contenido técnico de la norma	85
IV.2.1	Objetivo	85
IV.2.2	Campo de aplicación	86
IV.2.3	Referencias	86
IV.2.4	Definiciones	87
IV.3	Elementos que constituyen el contenido técnico de la norma	87
IV.3.1	Clasificación	88
IV.3.2	Método de prueba	88
IV.3.2.1	Método de medición de los niveles de iluminación	89
IV.3.2.2	Método de muestreo para definir los lugares de medición	95
IV.3.2.3	Conversión a niveles de iluminación mesópicos	95
IV.3.2.4	Relación S/P para cada tipo de tecnología	98
IV.3.2.5	Cálculo de los niveles de iluminación mantenidos	100
IV.3.2.6	Cálculo de las relaciones de uniformidad	106
IV.3.2.7	Cálculo de la densidad de potencia eléctrica para alumbrado	106
IV.3.3	Especificaciones	108
IV.3.3.1	Niveles mantenidos de iluminancia mesópica promedio	108
IV.3.3.2	Simulaciones realizadas	114
IV.3.3.3	Relaciones de uniformidad	120
IV.3.3.4	Densidad de potencia eléctrica para alumbrado	122
IV.3.3.5	Otras especificaciones	130
IV.4	Contenido adicional indicado en la Ley Federal de Metrología y Normalización	132
IV.5	Elementos complementarios	132
IV.5.1	Bibliografía	133
IV.5.2	Concordancia con normas internacionales	133
IV.5.3	Apéndices que forman parte de la norma	133
IV.5.4	Apéndices que no forman parte de la norma	133

V.	Propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004	135
VI.	Beneficios esperados con la implementación de la propuesta	173
VI.1	Beneficios en cuestión normativa	174
VI.2	Beneficios generales	176
VI.3	Estimación de algunos beneficios energéticos, económicos y ambientales	179
VI.4	Dificultades para la implementación de la propuesta	188
	Conclusiones	193
	Anexos	201
Anexo A	Características generales de las fuentes de luz por tecnología	201
Anexo B	Resultados de las simulaciones para evaluar el método de los nueve puntos	205
Anexo C	Relación S/P de diferentes fuentes luz	209
Anexo D	Depreciación del flujo luminoso por tecnología	211
Anexo E	Potencia de entrada de balastos para lámparas de alta intensidad de descarga	215
Anexo F	Resultados de las simulaciones para evaluar la densidad de potencia eléctrica para alumbrado	217
Anexo G	Ejemplo de las hojas de resultados obtenidas de las simulaciones con DIALux	241
	Bibliografía	245

Listas de figuras, tablas y gráficas

Lista de figuras

- Figura 1.1 Fuentes de luz comúnmente utilizadas en iluminación
- Figura 1.2 Tipos de controladores
- Figura 1.3 Diversos modelos de luminarios de alumbrado público
- Figura 1.4 Espectro electromagnético
- Figura 1.5 Flujo luminoso e intensidad luminosa
- Figura 1.6 Luminancia e iluminancia
- Figura 1.7 Uniformidad en alumbrado público
- Figura 1.8 Curvas de distribución espectral de potencia
- Figura 1.9 Temperatura de color correlacionada
- Figura 1.10 Índice de rendimiento de color
- Figura 1.11 Curvas típicas de sobrevivencia
- Figura 1.12 Curvas de depreciación del flujo luminoso
- Figura 1.13 Curvas fotométricas
- Figura 1.14 Coeficiente de utilización en luminarios de AP
- Figura 1.15 Circuitos de balastos electromagnéticos para lámparas de HID
- Figura 1.16 Estructura básica de una lámpara de VSAP
- Figura 1.17 Vialidades iluminadas con sistemas de VSAP
- Figura 1.18 Estructura básica de una lámpara de VAM
- Figura 1.19 Vialidades iluminadas con sistemas de VAM C
- Figura 1.20 Principales componentes de los sistemas de inducción
- Figura 1.21 Principio de operación de los sistemas de inducción
- Figura 1.22 Vialidades iluminadas con sistemas de inducción IE
- Figura 1.23 Estructura de los LEDs para iluminación
- Figura 1.24 Vialidades iluminadas con sistemas de LEDs
- Figura 1.25 Sistemas de alumbrado público con energías renovables
- Figura 2.1 Estructura del ojo humano y los fotoreceptores
- Figura 2.2 Gráfica de los datos utilizados para definir la función de visibilidad fotópica en 1924
- Figura 2.3 Curva de sensibilidad fotópica
- Figura 2.4 Curva de sensibilidad fotópica en comparación con la distribución espectral de VSBP, VSAP y VAM PS
- Figura 2.5 Curva de sensibilidad escotópica
- Figura 2.6 Curva de sensibilidad escotópica en comparación con la distribución espectral de VSBP, VSAP y VAM PS

Figura 2.7	Intervalo de la visión mesópica
Figura 2.8	Curvas de sensibilidad del ojo humano
Figura 2.9	Luxómetro convencional y luxómetro fotópico-escotópico
Figura 2.10	Extracto de la tabla de conversión a luminancia mesópica de acuerdo al USP
Figura 2.11	Centros de investigación que participaron en el MOVE
Figura 2.12	Perímetro de Goldman modificado
Figura 2.13	Hemisferio uniforme de gran tamaño
Figura 2.14	Anillos de Landolt
Figura 2.15	Contrastes mesópicos en función del color del objetivo para los datos experimentales de Raphael y Leibenger, 2007 (posición a 10°)
Figura 2.16	Desviaciones estándar de los contrastes mesópicos obtenidos para los datos experimentales de Raphael y Leibenger, 2007 (posición a 10°)
Figura 2.17	Tiempos de respuesta en función de la luminancia del objetivo para los datos experimentales de Akashi, Rea y Bullough, 2007 (reflectancia del fondo 4%)
Figura 3.1	Comparación de luz amarilla y luz blanca en una vía principal
Figura 3.2	Comparación de luz amarilla y luz blanca en vía secundaria
Figura 4.1	Método de medición de la CIE
Figura 4.2	Método de medición de la IES
Figura 4.3	Método de los nueve puntos
Figura 4.4	Método propuesto para verificar los niveles de iluminación en aceras
Figura 4.5	Relación S/P de lámparas de VAM y VAM PS en función de la TCC
Figura 4.6	Curvas de depreciación por ensuciamiento del luminario de acuerdo a la norma ANSI/IES RP-8-00
Figura 4.7	Ubicación de luminarios y puntos de medición para el caso 4 (ancho de calle 9 m, distancia interpostal 30 m y altura de montaje 9 m)
Figura 5.1	Figura 1. Ubicación de los nueve puntos de medición con luminarios instalados en configuración unilateral
Figura 5.2	Figura 2. Ubicación de los nueve puntos de medición con luminarios instalados en configuración bilateral apareada
Figura 5.3	Figura 3. Ubicación de los nueve puntos de medición con luminarios instalados en configuración bilateral
Figura 5.4	Figura 4. Ubicación de los nueve puntos de medición con luminarios instalados en configuración central doble
Figura 5.5	Figura 5. Ubicación de los puntos de medición para verificar los niveles de iluminación en aceras
Figura 5.6	Figura B1. Configuración y distancias de los equipos
Figura 6.1	Distribución de luminarios a sustituir y porcentajes de ahorro estimados de acuerdo al Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público

Lista de tablas

Tabla 1.1	Niveles mantenidos de iluminancia promedio recomendados por la IES en la norma ANSI/IES RP-8-00
Tabla 1.2	Características de reflectancia del pavimento de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2005
Tabla 1.3	Valores mantenidos de luminancia de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2005
Tabla 1.4	Valores mínimos mantenidos de iluminancia promedio [lx] de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2005
Tabla 1.5	Valores máximos de DPEA para vialidades [W/m ²] de acuerdo a la NOM-013-ENER-2004
Tabla 1.6	Valores máximos de DPEA para vialidades iluminadas con superpostes de acuerdo a la NOM-013-ENER-2004
Tabla 1.7	Eficiencias mínimas de las lámparas de HID de acuerdo a la NOM-028-ENER-2010
Tabla 2.1	Principales diferencias entre el USP y el MOVE
Tabla 2.2	Características generales de los experimentos con condiciones cromáticas utilizados para evaluar los cuatros sistemas de fotometría mesópica que analizó la CIE
Tabla 2.3	Características generales de los experimentos con condiciones acromáticas utilizados para evaluar los cuatros sistemas de fotometría mesópica que analizó la CIE
Tabla 2.4	Diferencia porcentual entre la luminancia fotópica y la luminancia mesópica obtenida a partir del sistema de fotometría mesópica recomendado por la CIE
Tabla 4.1	Estructura y contenido de la propuesta de actualización de la Nom-013-ENER-2004
Tabla 4.2	Clasificación del alumbrado de vialidades de acuerdo a la NOM-013-ENER-2004 y a la NOM-001-SEDE-2005
Tabla 4.3	Resumen de los resultados de algunas simulaciones realizadas para comparar el método de los nueve puntos con los métodos de la CIE y de la IES
Tabla 4.4	Tabla de relaciones S/P en función de la tecnología y del intervalo de la TCC
Tabla 4.5	Tabla de depreciación del flujo luminoso por tecnología
Tabla 4.6	Factor de depreciación por ensuciamiento para luminarios con un grado de protección IP6X de acuerdo al reporte técnico CIE 154:2003
Tabla 4.7	Valores de iluminancia mesópica promedio mantenida equivalentes a los valores especificados en la NOM-001-SEDE-2005 considerando una relación S/P de 0,65
Tabla 4.8	Características generales de cada caso simulado
Tabla 4.9	Marcas y cantidad de luminarios por tecnología empleados en las simulaciones
Tabla 4.10	Valores máximos propuestos para las relaciones de uniformidad
Tabla 4.11	Relaciones de uniformidad obtenidas en las simulaciones
Tabla 4.12	Valores máximos de DPEA para cada tipo vialidad con base en la NOM-013-ENER-2004 y la NOM-001-SEDE-2005
Tabla 4.13	Valores mínimos y máximos de DPEA obtenidos en las simulaciones para R1
Tabla 4.14	Valores mínimos y máximos de DPEA obtenidos en las simulaciones para R2 y R3
Tabla 4.15	Valores mínimos y máximos de DPEA obtenidos en las simulaciones para R4

Tabla 4.16	Valores mínimo, máximo y promedio de luxes por unidad de carga a las 12 000 horas obtenidos para cada tecnología
Tabla 4.17	Valores máximos permitidos de DPEA propuestos para la actualización de la NOM-013-ENER-2004
Tabla 4.18	Reducción porcentual que representan los valores DPEA propuestos en comparación con los valores de DPEA actuales
Tabla 5.1	Tabla 1. Valores máximos permitidos de DPEA en los sistemas de alumbrado para vialidades
Tabla 5.2	Tabla 2. Valores máximos permitidos de DPEA para vialidades iluminadas con superpostes
Tabla 5.3	Tabla 3. Valores requeridos de iluminancia mesópica promedio y relaciones de uniformidad en el alumbrado para vialidades
Tabla 5.4	Tabla 4. Valores de depreciación del flujo luminoso para diferentes tecnologías
Tabla 5.5	Tabla 5. Clasificación de los tipos de pavimento para vialidades
Tabla 5.6	Tabla 6. Valores de relación S/P para diferentes tecnologías
Tabla 5.7	Tabla A1. Valores de iluminancia mesópica para pavimentos tipo R1 (lxmes)
Tabla 5.8	Tabla A2. Valores de iluminancia mesópica para pavimentos tipo R2 y R3 (lxmes)
Tabla 5.9	Tabla A3. Valores de iluminancia mesópica para pavimentos tipo R4 (lxmes)
Tabla 5.10	Tabla B1. Potencia de entrada y relación S/P de las alternativas de sustitución del ejemplo
Tabla 5.11	Tabla B2. DPEA para las alternativas de sustitución del ejemplo
Tabla 5.12	Tabla B3. Valores de iluminancia (lx) en los 9 puntos de medición para cada alternativa de sustitución
Tabla 5.13	Tabla B4. Niveles de iluminancia promedio (lx) para cada alternativa de sustitución
Tabla 5.14	Tabla B5. Niveles mantenidos de iluminancia promedio (lx) para cada alternativa de sustitución
Tabla 5.15	Tabla B6. Niveles mantenidos de iluminancia mesópica promedio (lxmes) para cada alternativa de sustitución
Tabla 5.16	Tabla B7. Relaciones de uniformidad para cada alternativa de sustitución del ejemplo
Tabla 6.1	Cantidad de luminarios, carga conectada y consumo de energía anual estimados para el alumbrado de vialidades
Tabla 6.2	Escenarios considerados para el cálculo de los beneficios esperados (Situación actual)
Tabla 6.3	Estimación de la reducción de carga conectada y consumo de energía de los sistemas de alumbrado de vialidades (A largo plazo a partir de la implementación de la propuesta)
Tabla 6.4	Valores del coeficiente de emisión de GEI de 2005 a 2010 de acuerdo con el Programa GEI México
Tabla 6.5	Estimación de otros beneficios
Tabla 6.6	Estimación de la reducción económica en facturación eléctrica
Tabla 6.7	Estimación de la inversión máxima requerida para la sustitución de los equipos en función del periodo simple de recuperación
Tabla A1.	Características generales de las tecnologías de iluminación para AP
Tabla B1.	Resultados de las simulaciones para evaluar la exactitud del método de los nueve puntos

Tabla B2.	Resumen de los resultados de las simulaciones para evaluar la exactitud del método de los nueve puntos
Tabla C1.	Base de datos de relaciones S/P de diferentes fuentes de luz
Tabla C2.	Relaciones S/P utilizadas en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 con referencias
Tabla D1.	Depreciación del flujo luminosos por tecnología
Tabla E1.	Potencia de entrada de balastos para lámparas de HID
Tabla F1.	Resultados de las simulaciones considerando un pavimentos R1
Tabla F2.	Resultados de las simulaciones considerando un pavimentos R2
Tabla F3.	Resultados de las simulaciones considerando un pavimentos R3

Lista de gráficas

Gráfica 1.1	Generación bruta de energía eléctrica por tecnología en México en 2011
Gráfica 1.2	Luminarios por tecnología en las vías primarias de la Ciudad de México
Gráfica 2.1	Valores típicos de relación S/P de algunas fuentes de luz
Gráfica 2.2	Luminancia mesópica equivalente de acuerdo al USP
Gráfica 2.3	Relación entre la luminancia mesópica y la luminancia fotópica de acuerdo a los cuatro sistemas de fotometría mesópica evaluados por la CIE
Gráfica 3.1	Comparación de niveles de iluminación fotópicos y mesópicos con una fuente de luz amarilla y con una fuente de luz blanca de acuerdo al sistema de fotometría mesópica de la CIE
Gráfica 3.2	Sistema de luz amarilla y sistema de luz blanca con un desempeño visual equivalente de acuerdo al sistema de fotometría mesópica de la CIE
Gráfica 3.3	Comparación entre un sistema de VAM convencional y un sistema de VAM cerámico
Gráfica 3.4	Comparación (hipotética) del flujo luminoso de la fuente de luz y el flujo luminoso incidente en la vialidad con un luminario de HID y un luminario de LEDs
Gráfica 4.1	Comparación entre las dos opciones planteadas para aplicar el sistema de fotometría mesópica de la CIE (considerando un pavimento tipo R2 y R3)
Gráfica 4.2	Relación entre la iluminancia mesópica y la iluminancia fotópica para diferentes valores de iluminancia fotópica, de acuerdo al sistema de fotometría mesópica de la CIE (considerando un pavimento tipo R2 y R3)
Gráfica 4.3	Relación entre la iluminancia fotópica y la iluminancia mesópica, de acuerdo al sistema de fotometría mesópica de la CIE (considerando un pavimento tipo R2 y R3)
Gráfica 6.1	Costo promedio anual de la energía en las tarifas eléctricas de alumbrado público

Introducción

El alumbrado público es un servicio cuyo objetivo principal es satisfacer las necesidades básicas de iluminación de vialidades y espacios públicos de manera que contribuya a garantizar la seguridad y bienestar de los usuarios; este servicio representa un consumo considerable de energía eléctrica y tiene un costo significativo para los gobiernos estatales y municipales.

En México la mayor parte de la energía eléctrica es generada por medio de combustibles fósiles, lo que ocasiona un agotamiento acelerado de las fuentes de energía no renovables, así como la emisión de contaminantes a la atmósfera. En este sentido, en los últimos años se han promovido diversas acciones para reducir el consumo de energía, promover la conservación de los recursos naturales y mitigar el impacto al medio ambiente; una de estas acciones es la elaboración de normas que regulan la eficiencia energética de los equipos e instalaciones que consumen energía.

En el caso del alumbrado público, la NOM-013-ENER-2004 *Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas*, establece los valores máximos de densidad de potencia eléctrica por alumbrado (DPEA) que deben cumplir dichas instalaciones; esta norma limita la carga de los sistemas de iluminación con el propósito de que las instalaciones se diseñen y especifiquen con un criterio de uso eficiente de la energía, sin menoscabo de los requerimientos visuales de sus usuarios.

Con el paso del tiempo, toda norma debe ser sujeta a una revisión y en caso de ser necesario debe ser actualizada considerando los nuevos requerimientos que se tengan, la evolución de la industria, las deficiencias que pudiese haber presentado durante su aplicación, entre otros aspectos. Desde la publicación de la NOM-013-ENER-2004, el mundo de la iluminación ha evolucionado considerablemente, destacando la publicación del sistema de fotometría mesópica recomendado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) y los avances que ha tenido la industria, lo cual afecta directamente a los sistemas de alumbrado público de la siguiente forma:

Actualmente las normas y recomendaciones sobre los sistemas de iluminación se basan en el sistema de fotometría que definió la CIE desde 1924. Este sistema se utiliza para evaluar los niveles de iluminación y está definido a partir de la función fotópica de eficacia luminosa espectral, la cual caracteriza la sensibilidad del ojo humano respecto al brillo percibido con niveles relativamente altos de iluminación; la gráfica de esta función tiene forma de una campana de Gauss con su valor máximo en una longitud de onda de 555 nm, estando mas cargada hacia los tonos verde, amarillo y rojo, lo cual tiene como consecuencia que se considere que el ojo humano tiene mayor sensibilidad a las fuentes de luz amarilla que a las fuentes de luz blanca.

A diferencia del sistema de fotometría actual, el sistema de fotometría mesópica de la CIE evalúa los niveles de iluminación en función del desempeño que se tiene en ciertas tareas visuales que son de relevancia para determinadas aplicaciones, especialmente para el alumbrado de vialidades. Este otro sistema se define para niveles de iluminación fotópica de 0,005 a 5 cd/m² –en alumbrado el alumbrado de vialidades se recomiendan niveles de 0,3 a 2 cd/m²–, e indica que el nivel de iluminación mesópica depende de la distribución espectral de la fuente de luz, así como del nivel de iluminación fotópica; a partir de este sistema, las fuentes de luz blanca requieren un nivel de iluminación fotópica menor al de una fuente de luz amarilla para proporcionar un nivel de iluminación mesópica equivalente, lo que implica que la potencia necesaria por un sistema de luz blanca se puede reducir en cierta medida sin afectar el desempeño visual de los usuarios. El sistema de fotometría mesópica de la CIE fue publicado en septiembre de 2010 como un reporte técnico y actualmente se encuentra en proceso para convertirse en una norma ISO/CIE.

Por otro lado, la industria de la iluminación ha cambiado un poco desde que entró en vigor la NOM-013-ENER-2004; en el alumbrado público se han comenzado a emplear las tecnologías de aditivos metálicos cerámicos, inducción y LEDs, que junto con los sistemas de vapor de sodio alta presión optimizado tienen un mejor desempeño que las tecnologías convencionales; adicionalmente, en los últimos años se ha dado un gran impulso a las fuentes de luz blanca promoviendo las ventajas que tienen sobre las fuentes de luz amarilla.

La implementación de tecnologías más eficientes y la aplicación del sistema de fotometría mesópica, abren la posibilidad de reducir considerablemente el consumo de energía de los sistemas de alumbrado público, para lo cual es determinante la actualización de la normatividad nacional aplicable al alumbrado público.

En este sentido, además de la NOM-013-ENER-2004, la norma NOM-001-SEDE-2005 *Instalaciones eléctricas (utilización)* contiene algunas especificaciones para los sistemas de alumbrado público en su artículo 930, especialmente las referentes a los niveles de iluminación requeridos para los diferentes tipos de vialidades. Asimismo la NOM-013-ENER-2004 está ligada de manera directa a la NOM-001-SEDE-2005, ya que los valores máximos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado que establece están en función de los niveles de iluminación que solicita dicha norma.

De acuerdo a lo anterior, para promover la implementación de tecnologías más eficientes y la aplicación del sistema de fotometría mesópica, es necesario modificar las especificaciones relativas al alumbrado público contenidas en las normas NOM-013-ENER-2004 y NOM-001-SEDE-2005.

En este sentido, mediante el desarrollo de esta tesis se pretende dar respuesta a las preguntas: ¿qué consideraciones se deben tener para adaptar el sistema de fotometría mesópica de la CIE a la normatividad nacional?, ¿cómo se deben modificar los niveles de iluminación de la NOM-001-SEDE-2005 para expresarse en términos del sistema de fotometría mesópica de la CIE?, ¿qué tanto pueden mejorar los valores de DPEA si se evalúan los niveles de iluminación conforme al sistema de fotometría mesópica de la CIE y considerando las tecnologías más eficientes?.

Para dar respuesta a estas interrogantes, el presente trabajo plantea la elaboración de una propuesta de actualización de la norma NOM-013-ENER-2004, integrando en dicha propuesta las modificaciones necesarias a la NOM-001-SEDE-2005. Por motivos de extensión y simplificación de la normatividad, la presente tesis y la respectiva propuesta de actualización se centran únicamente en el alumbrado de vialidades, que es la aplicación de mayor importancia dentro del alumbrado público.

En resumen, el objetivo principal de esta tesis es elaborar una propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 que especifique nuevos valores DPEA para los sistemas de alumbrado de vialidades, tomando como base los niveles de iluminación de la NOM-001-SEDE-2005 adaptados al sistema de fotometría mesópica de la CIE, así como los resultados que se pueden obtener al emplear las tecnologías más eficientes que se encuentran disponibles actualmente. Asimismo, la propuesta de actualización pretende corregir algunas deficiencias e inconsistencias encontradas en la NOM-001-SEDE-2005 y la NOM-013-ENER-2004, entre las que destaca la falta de un método de prueba para evaluar los niveles mantenidos de iluminación promedio en vialidades.

Aunque esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 se limita al alumbrado de vialidades –dejando a un lado el alumbrado de exteriores, túneles, pasos a desnivel y estacionamientos–, se busca que las especificaciones obtenidas puedan ser implementadas ya sea de la forma como lo plantea esta tesis o de alguna otra si se considere más conveniente.

De manera general, esta tesis se desarrolló a través de la recopilación y análisis de información de diversas fuentes bibliográficas, incluyendo normas nacionales, documentos técnicos de organizaciones especializadas en iluminación, fichas técnicas y catálogos de fabricantes, artículos técnicos, documentos y páginas electrónicas institucionales, entre otros.

Adicionalmente, una parte central en la elaboración de esta tesis fue la realización de simulaciones en un programa de cómputo para el cálculo de niveles de iluminación. Se evaluaron diferentes casos en los que se utilizaron curvas fotométricas de todas las tecnologías disponibles para alumbrado público en diversas potencias, de tal manera que se obtuvieran datos

representativos sobre los niveles de iluminación y la densidad de potencia eléctrica que se pueden obtener empleando el método de prueba que se definió para la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004; finalmente, los resultados obtenidos se analizaron para poder establecer los nuevos valores máximos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado especificados en la propuesta de actualización.

Para sustentar esta tesis se desarrolló el siguiente capitulado: en el capítulo uno, titulado *Antecedentes generales*, se mencionan algunos conceptos básicos de iluminación y ahorro de energía, se incluye un resumen de las tecnologías de iluminación para alumbrado público y se da un panorama general sobre la normatividad nacional e internacional aplicable al alumbrado público; el capítulo dos, *El paradigma de la medición de la luz*, aborda los temas relacionados con el sistema de fotometría actual y el sistema de fotometría mesópica de la CIE; en el capítulo tres, *Justificación de la actualización de la NOM-013-ENER-2004*, se argumentan las razones para actualizar las normas nacionales relativas al alumbrado público; el capítulo cuatro, que tiene como título *Elementos de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004*, detalla los fundamentos técnicos y consideraciones que se tomaron en cuenta para elaborar cada elemento que conforma la propuesta de actualización; el capítulo cinco contiene la Propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 que fue elaborada como parte de esta tesis; por último, en el capítulo 6, *Beneficios esperados con la implementación de la propuesta*, se analizan los beneficios generales que se pueden lograr y se hacen algunas estimaciones al respecto, además se incluye un análisis de posibles dificultades que puede tener la implementación de la propuesta.

Los hallazgos encontrados durante el desarrollo de esta tesis revelan que la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de vialidades puede mejorar sustancialmente, a partir de la implementación de tecnologías más eficientes y de la evaluación de los niveles de iluminación por medio del sistema de fotometría mesópica de la CIE.

De manera general, esta tesis busca promover un aumento significativo en la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de vialidades, lo cual se traduciría en diversos beneficios referentes al ahorro de energía, conservación de los recursos naturales y medio ambiente, así como la implementación de proyectos que favorezcan la reactivación económica y la liberación de recursos financieros del país.



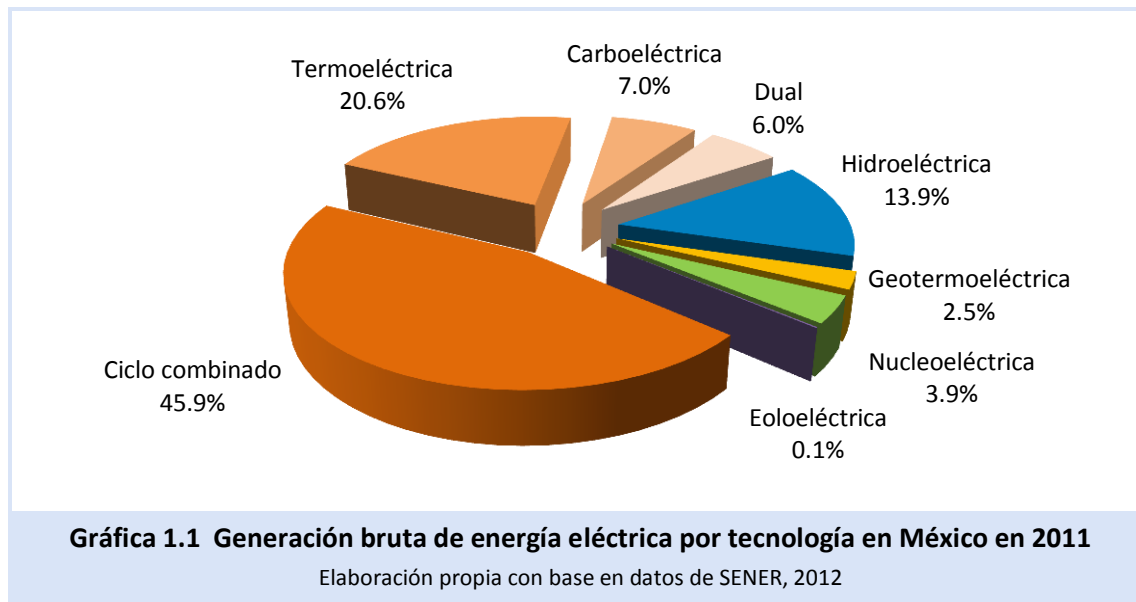
1. Antecedentes generales

La iluminación juega un papel trascendental en el desarrollo de las actividades del ser humano; tan sólo en México, se estima que dicha aplicación representa aproximadamente el 18% del consumo total de la energía eléctrica (CONUEE, 2010).

Particularmente, el alumbrado público (AP) es un servicio cuyo objetivo principal es satisfacer las necesidades básicas de iluminación de vialidades y espacios públicos de manera que contribuya a garantizar la seguridad y bienestar de los usuarios. En este sentido, varios estudios han demostrado que un buen alumbrado público ayuda a disminuir los accidentes vehiculares (U.S. Department of Transportation, 2008) y los crímenes en las calles (Licht.de, 2011; Painter y Farrington, 1999 cit. por Philips, 2008), creando un sentimiento de seguridad que permite incrementar la actividad comercial, el consumo de bienes y el producto interno bruto.

Los sistemas de AP tienen una participación considerable en el consumo de energía eléctrica, debido a que están presentes en la gran mayoría de las entidades del país y permanecen encendidos alrededor de 12 horas al día. Aunque no existe un dato oficial de la cantidad total de luminarios instalados en el país para este servicio, tan sólo en las vialidades de la Ciudad de México el número asciende a más de 350 000 sistemas (Gobierno del Distrito Federal, 2008). Es evidente que el costo eléctrico del alumbrado público ocupa un porcentaje importante dentro del presupuesto de los gobiernos estatales y municipales.

Por otro lado, en México la mayor parte de la energía eléctrica es generada por medio de combustibles fósiles. De acuerdo con datos de la Secretaría de Energía, en 2011 el 79,5% de la energía eléctrica se generó en plantas termoeléctricas, de ciclo combinado, carboeléctricas y duales¹. Esto ocasiona un agotamiento acelerado de las fuentes de energía no renovables, así como la emisión de compuestos contaminantes a la atmósfera, tales como el bióxido de carbono, gas de efecto invernadero y uno de los principales causantes del calentamiento global.



De esta manera, ahorrar energía no sólo permite al usuario reducir el costo de su facturación eléctrica, sino que también contribuye a la preservación de los recursos naturales y el medio ambiente, entre muchos otros beneficios.

En suma, los sistemas de alumbrado público constituyen un área de gran interés para los gobiernos. Adicionalmente, esta condición se ha visto fortalecida durante los últimos años a partir de la introducción de nuevas tecnologías en iluminación.

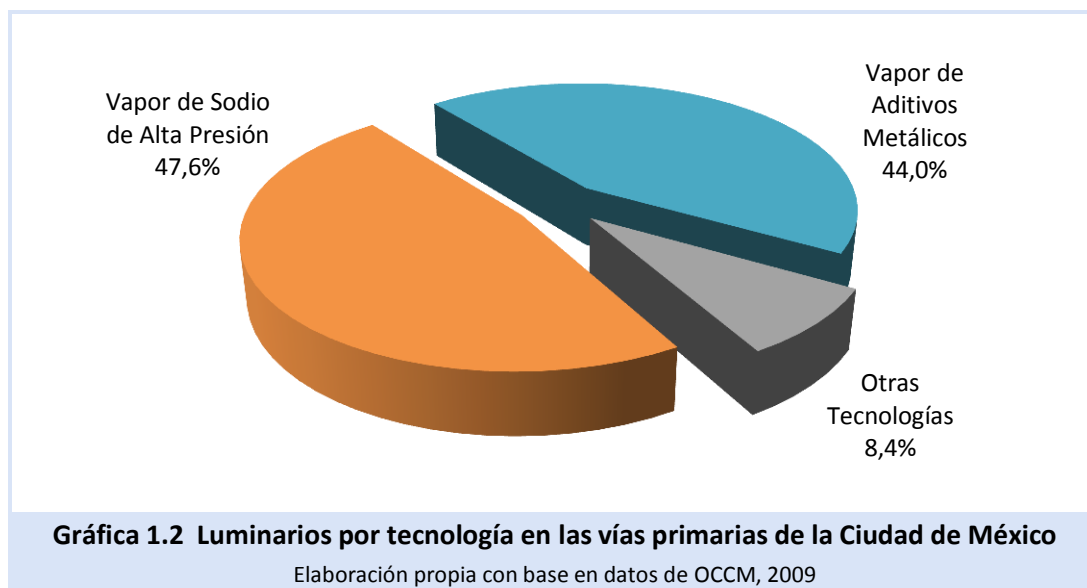
Cabe destacar que el 6 de diciembre de 2010 fue anunciado por el Gobierno Federal el “Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal”, como parte del “Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012”, el cual pretende dar facilidades para obtener financiamiento y/o fondos perdidos a municipios que estén interesados en implementar proyectos de ahorro de energía en AP (CONUEE, 2010).

¹ La generación de energía eléctrica en México durante 2011 ascendió a 257 885 GWh, de los cuales el 32,8% fue generado por los productores externos de energía (PPE’s), con un 32,7% en plantas de ciclo combinado y un 0,1% en plantas eoloeléctricas (Secretaría de Energía, 2012).

No obstante, es muy importante resaltar que el alumbrado público no debe sacrificarse con el fin de ahorrar energía y dinero.

De manera ideal, un proyecto de ahorro de energía en alumbrado público consiste en la implementación de medidas que permiten reducir el consumo de energía eléctrica, manteniendo una iluminación adecuada, acorde con las necesidades de los usuarios y cumpliendo con la normatividad aplicable. Las medidas pueden ir desde la sustitución de balastos, la instalación de nuevos luminarios con lámparas más eficaces o de otra tecnología, la implementación de sistemas de control automático y hasta el uso de energías renovables. Los ahorros generados deben permitir pagar la inversión en un plazo razonable, por lo que las medidas a implementarse están limitadas por su rentabilidad y por la capacidad financiera del municipio o entidad.

Actualmente los sistemas de alumbrado público del país están conformados principalmente por sistemas de sodio alta presión (VSAP), en menor medida por sistemas de aditivos metálicos (VAM) y por un porcentaje reducido de otras tecnologías como lámparas incandescentes, de luz mixta y vapor de mercurio. No obstante, en las grandes ciudades los sistemas de VAM se han incrementado considerablemente, por ejemplo, de acuerdo a datos del Observatorio Ciudadano de la Ciudad de México, en 2008 en las vías primarias del Distrito Federal, el porcentaje de luminarios de VSAP fue de 47,6% mientras que de VAM fue de 44,0%.



La introducción de nuevos criterios en la medición de la luz y la entrada de nuevas tecnologías, abre la puerta a la implementación de proyectos que sustituyan los actuales sistemas de VSAP, lo cual impactaría de manera importante en el consumo de energía del país.

I.1 Nociones básicas de iluminación y ahorro de energía

Para fines de diseño, especificación o evaluación, es muy importante conocer diversos conceptos y parámetros que se aplican de manera específica en la iluminación y el ahorro de energía.

I.1.1 Componentes de un sistema de iluminación

Dependiendo de cada aplicación, los sistemas de iluminación se componen de diversos elementos que les permiten proporcionar una iluminación adecuada y operar en condiciones óptimas. De manera general los componentes básicos de un sistema de iluminación, son los siguientes:

Fuente de luz artificial. Es un dispositivo cuyo objetivo es transformar la energía eléctrica en radiación electromagnética visible para el ojo humano. Su principio de operación se basa en fenómenos como la incandescencia, la descarga eléctrica en gases o la electroluminiscencia. Algunas fuentes de luz, cuentan con un recubrimiento que les permite modificar el tipo de radiación que producen -por ejemplo de radiación UV a radiación visible-, y/o el aspecto cromático de la luz. De manera general, las fuentes de luz más comunes en iluminación interior y exterior son las lámparas incandescentes, lámparas fluorescentes, lámparas de alta intensidad de descarga (HID), lámparas de inducción y los LEDs.



Figura 1.1 Fuentes de luz comúnmente utilizadas en iluminación

Imágenes adaptadas de CREE, 2011; General Electric, 2011; LVD, 2011; Nichia, 2011; Osram, 2011 y Philips, 2011

Controlador. Es el dispositivo encargado de satisfacer las condiciones eléctricas requeridas por una fuente de luz artificial para su correcto funcionamiento. En las lámparas fluorescentes y de alta intensidad de descarga (HID), recibe el nombre de balastro porque su función principal es limitar la corriente eléctrica ya que estas lámparas se caracterizan por tener una impedancia negativa; en las lámparas de inducción el controlador es un generador de alta frecuencia; en los LEDs es una fuente de corriente que recibe el nombre de driver. En algunos casos el controlador está integrado a la lámpara (sistema integral), mientras que en otros la lámpara y el controlador son elementos separados (sistemas modulares).



Figura 1.2 Tipos de controladores

Imágenes adaptadas de Mean Well, 2011; Osram, 2011; Philips, 2011 y SLI Lighting, 2011

Luminario. Es el dispositivo que se encarga de alojar la fuente de luz, cuyas principales funciones son distribuir adecuadamente la luz y proporcionar una protección y fijación apropiadas, aunque también se busca que cumpla una función estética acorde con el entorno. En la mayoría de los casos, se encarga de albergar el controlador e incluye otros componentes como reflectores, refractores, filtros y equipos auxiliares. Los luminarios se diseñan para un tipo de lámpara y aplicación en específico, no obstante existen luminarios con diferentes ópticas dependiendo de las necesidades. En alumbrado público, comúnmente los luminarios se montan en brazos sostenidos por un poste, alcanzando alturas de montaje de 7 a 11 m.



Figura 1.3 Diversos modelos de luminarios de alumbrado público

Imágenes de ISB, 2011; Philips, 2011; Everlast Inducción Lighting, 2011 y LED Roadway Lighting, 2011

Equipos Auxiliares. Son componentes adicionales que mejoran la funcionalidad del sistema de iluminación, e influyen en su calidad, consumo energético, economía y durabilidad. Ejemplo de estos equipos son los sensores de presencia, fotoceldas, paneles solares, sistemas de gestión remota, etc.

Instalación Eléctrica. Se encarga de proporcionar la energía eléctrica requerida por el sistema de iluminación. La instalación eléctrica debe ser dimensionada acorde con las carga de los sistemas de iluminación y contar con elementos de conexión y desconexión, así como de protección, de manera que cumplan con la normatividad oficial. La alimentación eléctrica debe tener las características adecuadas de voltaje y frecuencia, aunque algunos controladores ofrecen una cierta regulación ante la variación de estos parámetros.

I.1.2 Conceptos y parámetros luminotécnicos

La comprensión de la ciencia de la iluminación requiere el conocimiento de diversos conceptos y parámetros básicos, los cuales están íntimamente relacionados a la forma en que se define y caracteriza la luz; en particular, la Sociedad de Ingenieros de Iluminación (IES) define la luz como la “energía radiante que es capaz de excitar la retina y producir una sensación visual”. En este sentido, a continuación se presentan varios de los conceptos y parámetros utilizados en iluminación que se derivan de esta premisa:

La luz y el espectro electromagnético. El espectro electromagnético es una forma de organizar y agrupar las ondas electromagnéticas de acuerdo a su longitud de onda (λ) o frecuencia (f). La frecuencia y la longitud de onda están relacionadas a partir de la constante de velocidad de propagación en el vacío de las ondas electromagnéticas, comúnmente llamada “velocidad de la luz”, la cual equivale aproximadamente a 3×10^8 m/s y que se denota con la letra c :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.1)$$

Formalmente se dice que el espectro electromagnético es continuo e infinito, no obstante con fines prácticos, suele ser representado desde los rayos gama ($\lambda < 10^{-12}$ m) hasta las ondas de radio largas ($\lambda > 10^4$ m). La mayor parte de las radiaciones son invisibles para el ojo humano.

No obstante, entre los rayos UV y las radiaciones infrarrojas, se encuentra una pequeña porción que corresponde al espectro visible por el ojo humano, cuyo intervalo va de los 380 nm a los 760 nm aproximadamente. Las radiaciones electromagnéticas dentro de este intervalo es lo que se define como luz, la cual tiene un color específico a cada longitud de onda, pasando por diferentes tonalidades desde el violeta hasta el rojo.

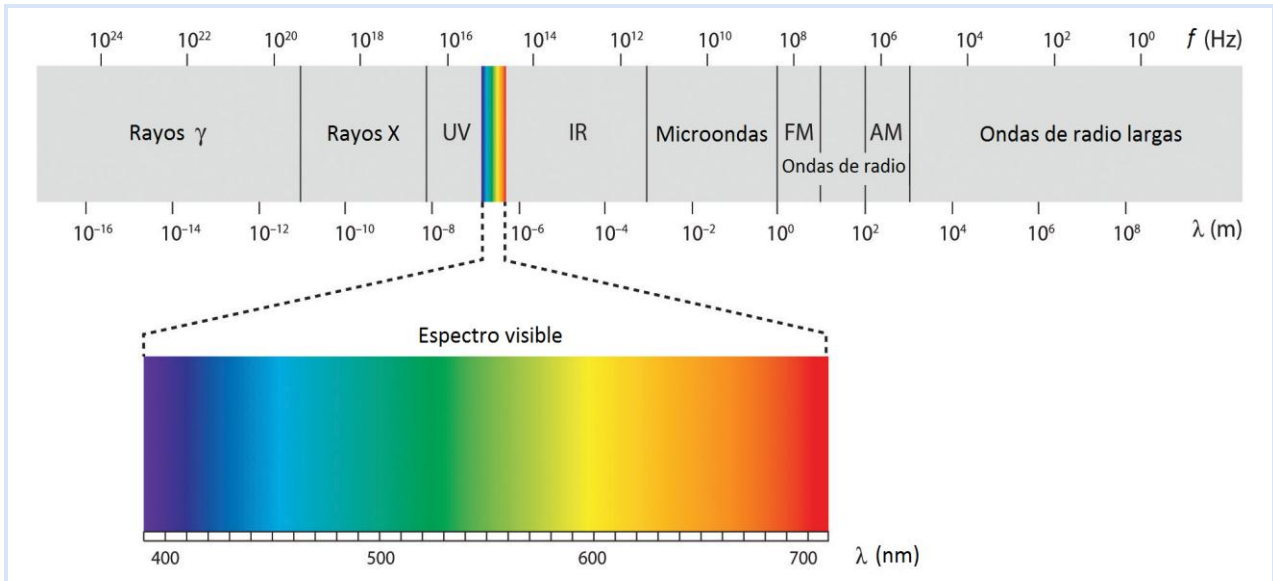


Figura 1.4 Espectro electromagnético

Imagen adaptada de Kurzweil, 2012

Sensibilidad espectral. Como se verá en el siguiente capítulo, dentro del intervalo del espectro visible, el ojo humano tiene mayor sensibilidad a ciertas longitudes de onda –o colores de luz–, lo cual varía dependiendo del brillo percibido. Particularmente, la función fotópica de eficacia luminosa espectral definida por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) desde 1924, que describe la sensibilidad del ojo humano con niveles altos de luminancia, es la que define el sistema de fotometría que se usa actualmente.

Flujo luminoso (Φ_v). Es la cantidad total de energía luminosa emitida por una fuente en todas las direcciones en una unidad de tiempo, su unidad es el lumen (lm). El flujo luminoso es la parte de la potencia –o flujo– radiante, medido en Watts, que puede ser percibida por el ojo humano, de acuerdo a la función fotópica de eficacia luminosa espectral de la CIE.

El valor de flujo luminoso que se encuentra en los catálogos y fichas técnicas de lámparas, corresponde al valor inicial medido bajo condiciones de laboratorio, con la potencia nominal y un envejecimiento previo equivalente a 100 horas continuas operación.

Intensidad luminosa (I_v). Es el flujo luminoso emitido por una fuente dentro de una unidad de ángulo sólido en una dirección específica, su unidad es la candela (cd). La candela es la unidad básica del Sistema Internacional de Unidades de la cual se derivan las distintas unidades fotométricas; en particular, un lumen es equivalente a una candela por estereorradián (cd/sr).

La intensidad luminosa se utiliza en las curvas fotométricas para describir como se distribuye el flujo luminoso de una lámpara o de un luminario.

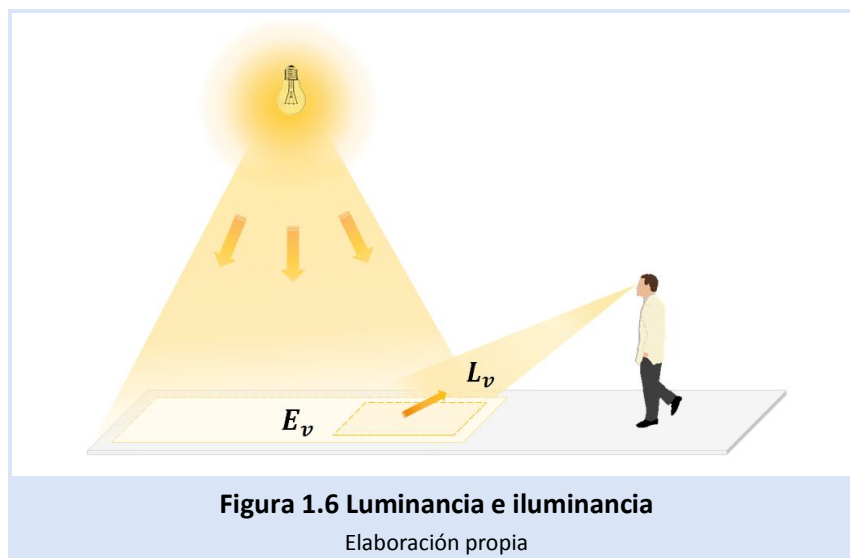


Iluminancia (E_v). Es la densidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie o plano de trabajo, su unidad es el lux (lx), que equivale a un lumen por metro cuadrado (lm/m^2).

La iluminancia es un parámetro que se utiliza para medir los niveles de iluminación en aplicaciones interiores y exteriores, por lo que es uno de los principales criterios de diseño en iluminación. Las normas y recomendaciones establecen la iluminancia requerida para diferentes aplicaciones, basándose principalmente en las tareas visuales desempeñadas.

Luminancia (L_v). Es la intensidad luminosa por unidad de área emitida en una dirección dada por una superficie luminosa o iluminada, su unidad es la candela por metro cuadrado (cd/m^2).

La luminancia es percibida por el ojo humano como el brillo que emite o refleja algún objeto o superficie; la luminancia y la iluminancia están relacionadas por la reflectancia de las superficies; en el alumbrado de vialidades, la luminancia es más significativa que la iluminancia, ya que incluye los efectos de la reflectancia del pavimento.



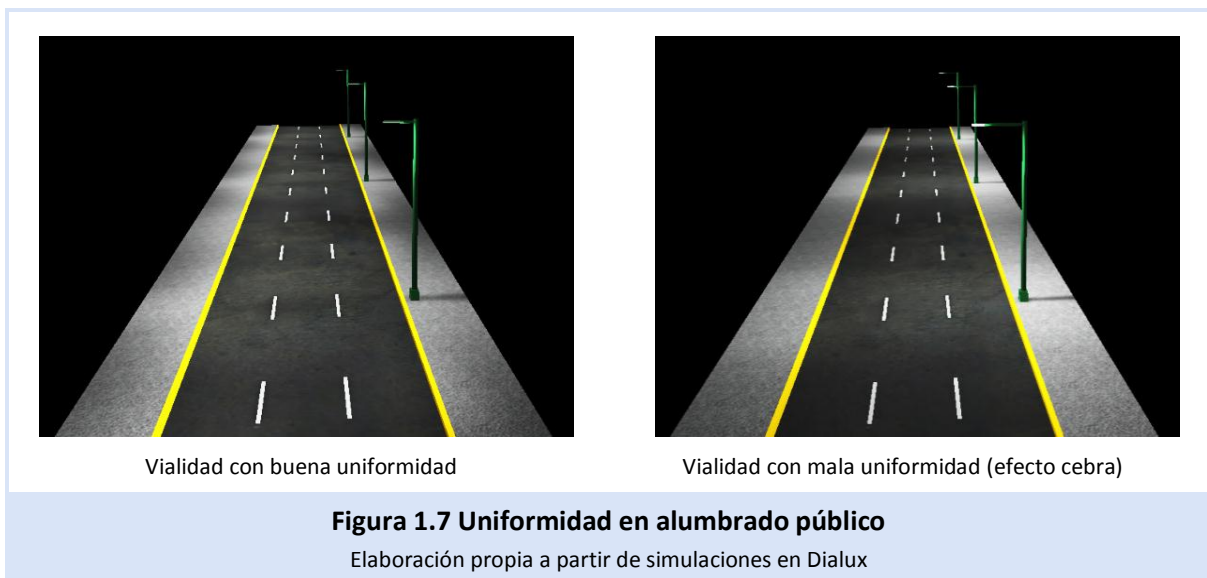
Reflectancia (ρ). Es una propiedad óptica de la materia que establece la relación entre la cantidad de luz incidente en una superficie y la cantidad de luz reflejada por la misma. Esta relación se expresa por medio de la luminancia de la superficie y la iluminancia incidente en ella; para el caso de las superficies reflectoras difusas², está dada por la siguiente expresión:

$$L_v = \frac{E_v \times \rho}{\pi} \quad (1.2)$$

Esta expresión se utiliza para obtener la luminancia a partir de la iluminancia y viceversa, únicamente es necesario conocer la reflectancia de la superficie sobre la que incide la luz.

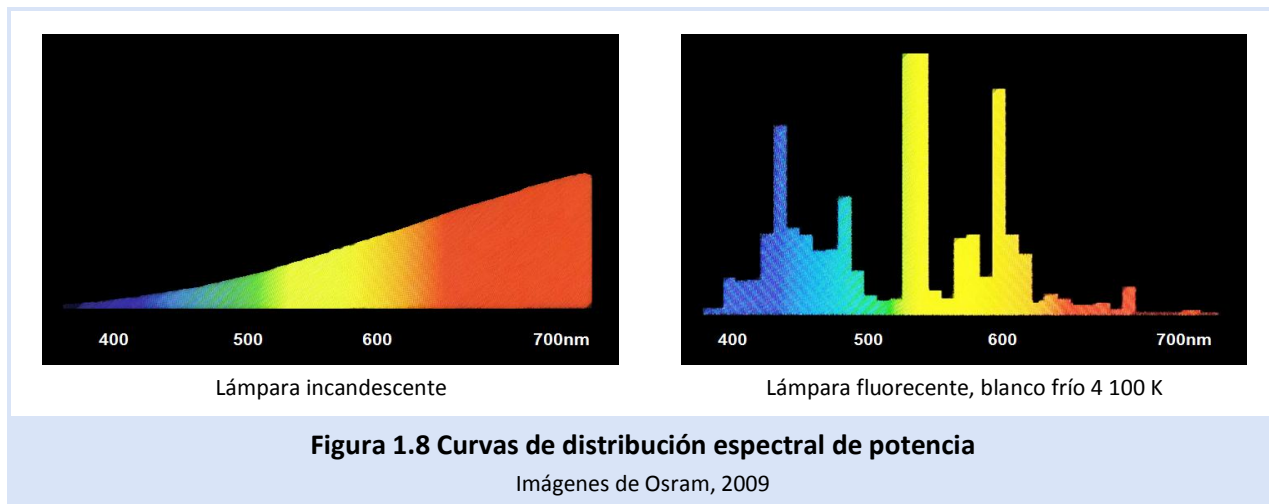
Relaciones de uniformidad. Son valores que indican la variación de la iluminancia en el plano de trabajo de un local o espacio determinado, tomando como base los valores de iluminancia máxima, mínima y promedio.

Las relaciones de uniformidad se utilizan como parámetro de diseño en varias aplicaciones de iluminación, ya que al tener una mala uniformidad se afecta el desempeño y confort visual. La condición ideal es que el nivel de iluminancia sea el mismo en todo el plano de trabajo, es decir, tener una uniformidad unitaria, no obstante, es suficiente cumplir con ciertos límites de dependiendo de cada aplicación. En este sentido, algunas normas y recomendaciones especifican valores de relaciones de uniformidad para diferentes aplicaciones.



² Una superficie reflectora difusa –en ocasiones llamada superficie lambertiana– es aquella que refleja la luz en varias direcciones al mismo tiempo, pero con diferentes intensidades luminosas de acuerdo a la ley del coseno, la cual establece que la cantidad de energía reflejada en una dirección en particular es proporcional al coseno del ángulo reflejado sobre la normal a la superficie; una superficie lambertiana tiene la misma luminancia en todas las direcciones. Por otro lado, una superficie reflectora especular es aquella en la que el ángulo de reflexión de la luz es igual al ángulo de incidencia medido sobre la normal a la superficie (Taylor, 2000).

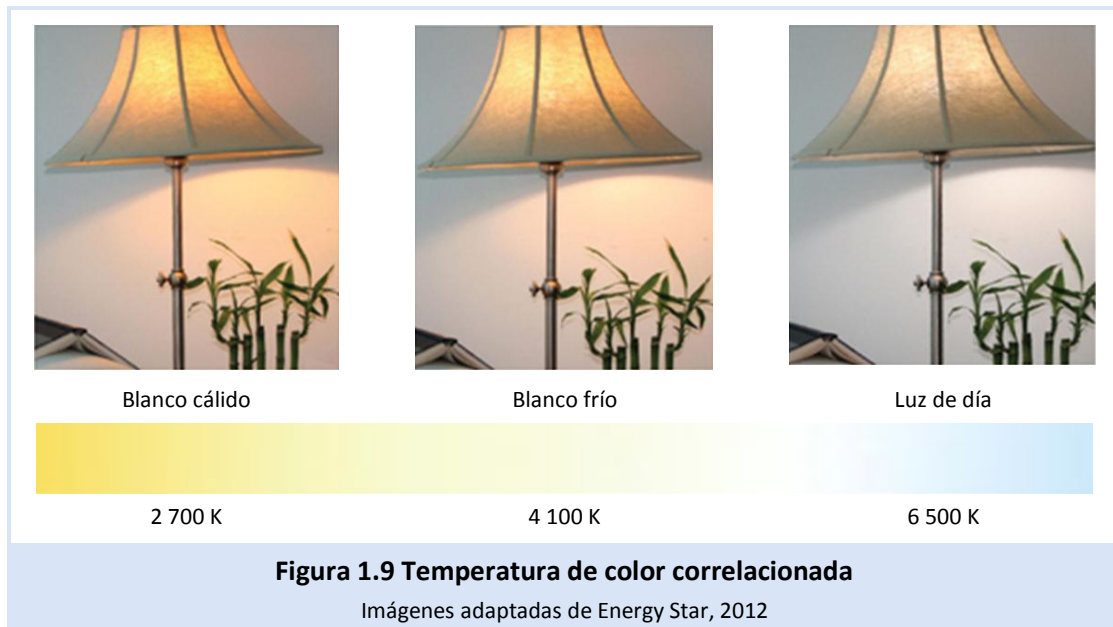
Curvas de distribución espectral de potencia. Son gráficas que permiten representar la potencia radiante que tiene una fuente de luz a cada longitud de onda dentro del espectro visible. Estas curvas se utilizan para caracterizar las diversas fuentes de luz, ya que cada una tiene una curva diferente dependiendo principalmente de su principio de producción de luz. En este sentido, el color que percibimos de una determinada fuente de luz es el resultado de la combinación de las diferentes longitudes de onda que la conforman, en particular, la luz blanca –o acromática– es la combinación de todos los colores de luz.



Temperatura de color correlacionada (TCC). Es un parámetro que describe la apariencia del color de la luz de una fuente, tomando como base de comparación el color de la luz que emite un cuerpo negro cuando se calienta a diferentes temperaturas, su unidad son los Kelvin (K).

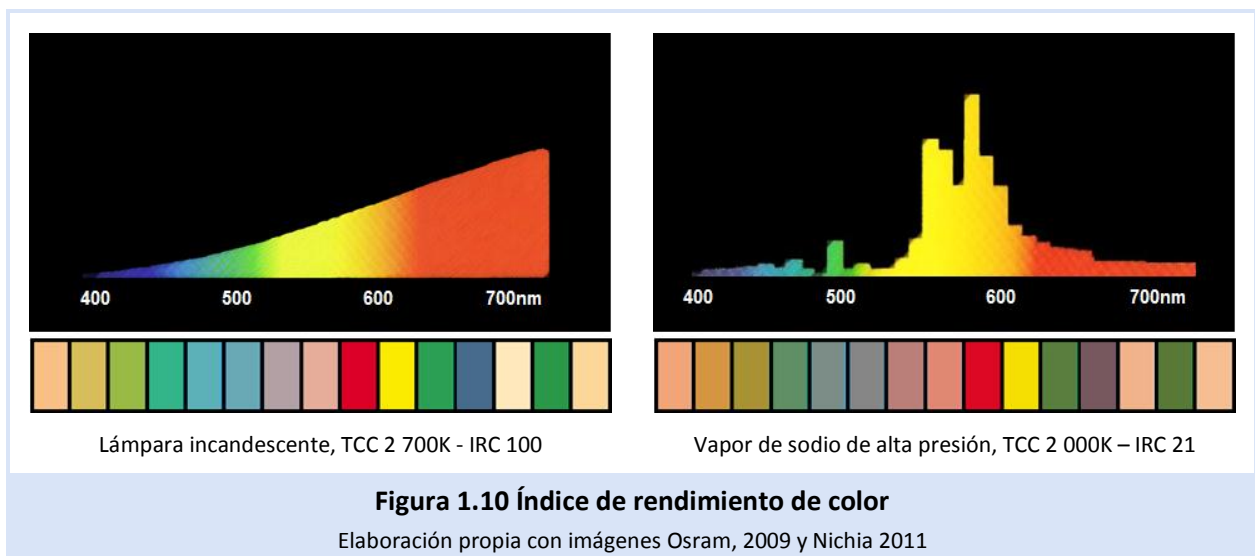
Idealmente un cuerpo negro es aquel que absorbe toda la radiación electromagnética que incide sobre él; además, de manera similar al filamento de una lámpara incandescente, al ser calentado lentamente, emite radiación térmica con una distribución espectral característica que depende únicamente de la temperatura a la que se encuentra, pasando por tonos negros, rojos, blancos y azules conforme se incrementa la misma. En la práctica, el cuerpo negro es un sólido compuesto de una aleación de varios metales que en conjunto tienen características cercanas a las de un cuerpo negro ideal.

La TCC es contraria a la percepción que tenemos comúnmente sobre los fenómenos naturales, ya que las lámparas con un color de luz que percibimos como frío –tonos azules– tienen una mayor temperatura de color correlacionada que las lámparas con un color de luz que percibimos como cálido –tonos rojos, naranjas y amarillos–. La temperatura de color correlacionada es un parámetro de diseño que se utiliza para crear diferentes ambientes y sensaciones dependiendo de la aplicación.



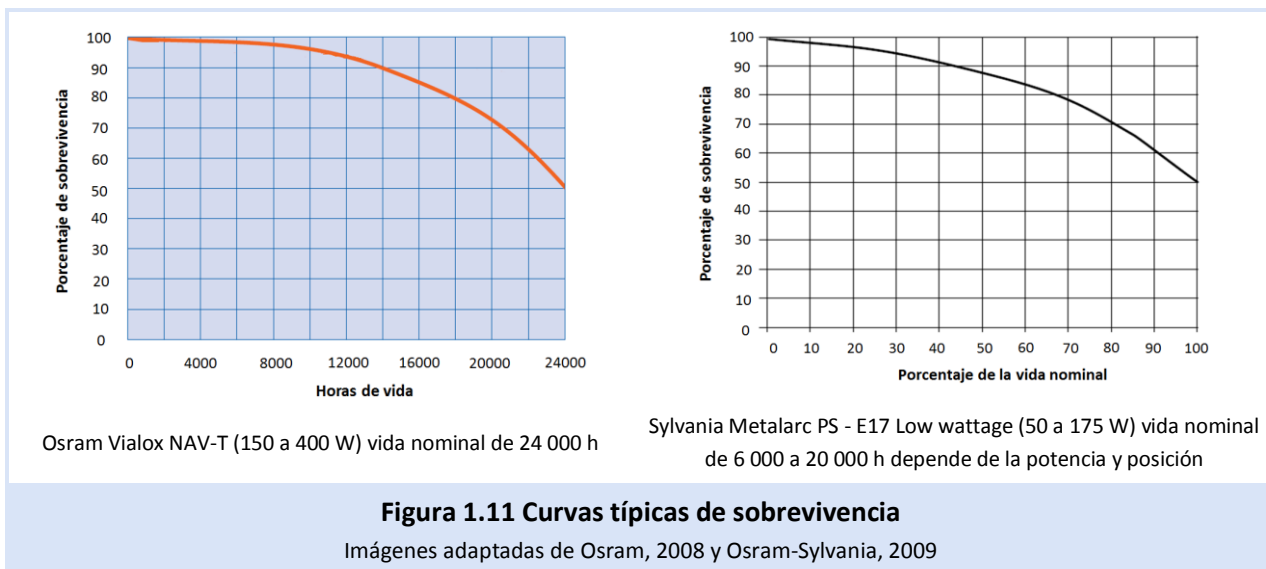
Índice de rendimiento de color (IRC). Es un valor adimensional que representa la exactitud relativa con la que una fuente de luz reproduce los colores en comparación con una fuente de luz de referencia con una TCC similar. El IRC se da en una escala de 0 a 100, en la que el 100 es el valor ideal en el que la fuente reproduce un conjunto de colores de prueba de la misma forma en que lo hace la fuente de referencia.

Para que una fuente de luz reproduzca adecuadamente un color, es necesario que su curva de distribución espectral contenga dicho color. El IRC es un parámetro de diseño de especial importancia en aquellas aplicaciones en las que es esencial una correcta identificación de los colores, no obstante en todas las aplicaciones es deseable que la fuente de luz tenga un alto IRC.



Vida nominal. Son las horas de vida de acuerdo al fabricante. Comúnmente se establece de acuerdo al periodo de tiempo en horas desde el primer encendido, hasta la muerte del 50% de la población de una muestra estadística de lámparas en condiciones de encendido y operación controladas; en el caso de los LEDs se establece al 70% de la depreciación de su flujo luminoso.

La vida nominal –llamada también vida promedio– varía en cada tecnología, modelo y potencia, e incluso en algunas lámparas de aditivos metálicos depende de la posición de operación. En la práctica, el tiempo de vida depende de diversas razones tales como los ciclos de encendido y apagado, tipo de balastro, regulación de tensión, temperatura de operación, entre otras.

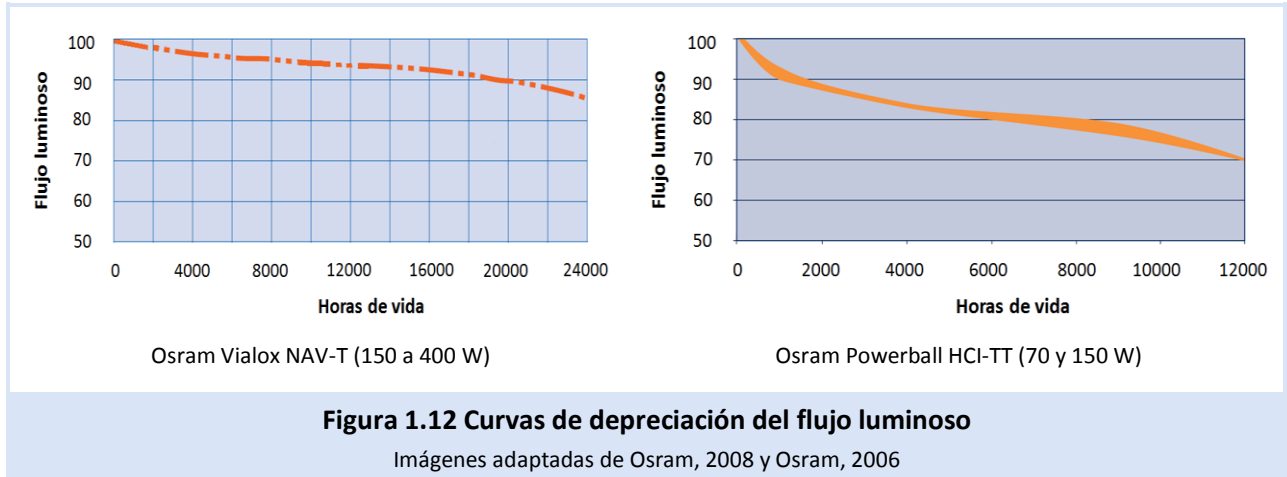


Depreciación del flujo luminoso (DFL). Es la relación del flujo luminoso de una fuente de luz después de un cierto número de horas –o a un determinado porcentaje de su vida nominal–, entre su flujo luminoso inicial. También se le conoce como depreciación de lúmenes de lámpara (DLL) o mantenimiento de lúmenes de lámpara.

La depreciación es el resultado del envejecimiento que sufren las fuentes de luz artificial, que se refleja en una disminución progresiva de su salida de luz hasta el momento de su muerte. La mayoría de los fabricantes proporcionan la depreciación –o flujo luminoso– al 40% de la vida nominal, solo en algunos casos proporcionan curvas de depreciación o su valor en diferentes intervalos de la vida nominal.

El diseño de los sistemas de iluminación debe tomar en cuenta la depreciación del flujo luminoso, ya que los niveles de iluminación son valores mínimos mantenidos, es decir, que se deben cumplir durante toda la vida útil de las instalaciones; en este sentido, suele recomendarse diseñar los sistemas considerando una depreciación del 70%.

La vida económica hace referencia al número de horas a las que debe ser remplazada una fuente de luz debido a que, por su depreciación, ya no proporciona los niveles de iluminación requeridos, lo cual depende de la DFL considerada en el diseño de cada sistema de iluminación.



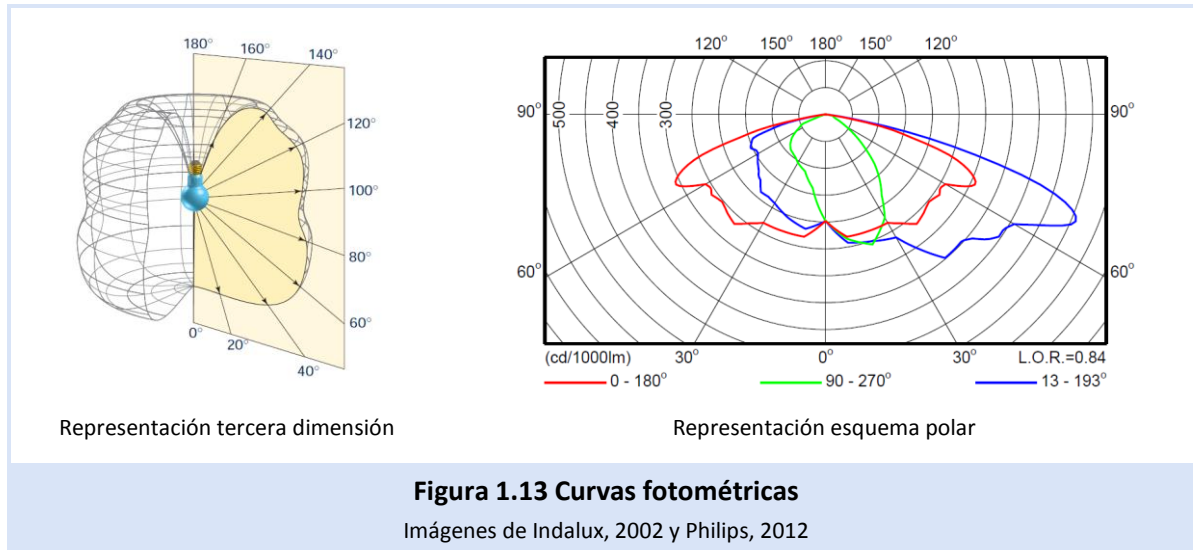
Factor de mantenimiento de la instalación (F_M). Se utiliza para calcular de manera aproximada el nivel de iluminación mínimo mantenido que tendrá un sistema de iluminación. El F_M es el producto de diversas variables que afectan el desempeño de un sistema de iluminación a lo largo de su vida útil dependiendo del mantenimiento que se le proporcione; el F_M se puede calcular de manera simplificada como el producto de la depreciación del flujo luminoso por el factor de depreciación por ensuciamiento del luminario (F_E).

$$F_M = DFL \times F_E \quad (1.3)$$

El factor de depreciación por ensuciamiento del luminario depende del nivel de contaminación del lugar, del grado de protección del luminario y del programa de mantenimiento y limpieza de los sistemas de iluminación.

Curva fotométrica. La intensidad luminosa que presenta un luminario o una lámpara en todas las direcciones del espacio, puede representarse mediante un sólido fotométrico tridimensional. Las curvas fotométricas contienen los valores de la intensidad luminosa en distintos ángulos de varios planos paralelos al eje vertical de la lámpara o luminario; gráficamente se representa en un esquema polar, en el que se trazan las curvas de intensidad luminosa en los planos de simetría respecto al eje vertical de la lámpara o luminario.

Los datos de las curvas fotométricas son utilizados en programas de cómputo especializados que permiten realizar cálculos y simulaciones para conocer los niveles de iluminación que proporciona un determinado sistema.



Coefficiente de utilización (CU). Es la relación del flujo luminoso que emite un luminario y que incide sobre el plano de trabajo, entre el flujo luminoso que emiten la(s) lámpara(s) del mismo luminario. El coeficiente de utilización es un parámetro que mide la eficiencia de un luminario en una aplicación específica.

En el caso de los luminarios de alumbrado público, el coeficiente de utilización permite conocer la cantidad de luz que incide sobre el piso, del lado calle y del lado casa, en una calle de largo indefinido con un ancho que está en función de la altura de montaje del luminario. A partir del CU se puede hacer un cálculo aproximado del nivel de iluminancia media que proporciona un determinado luminario.

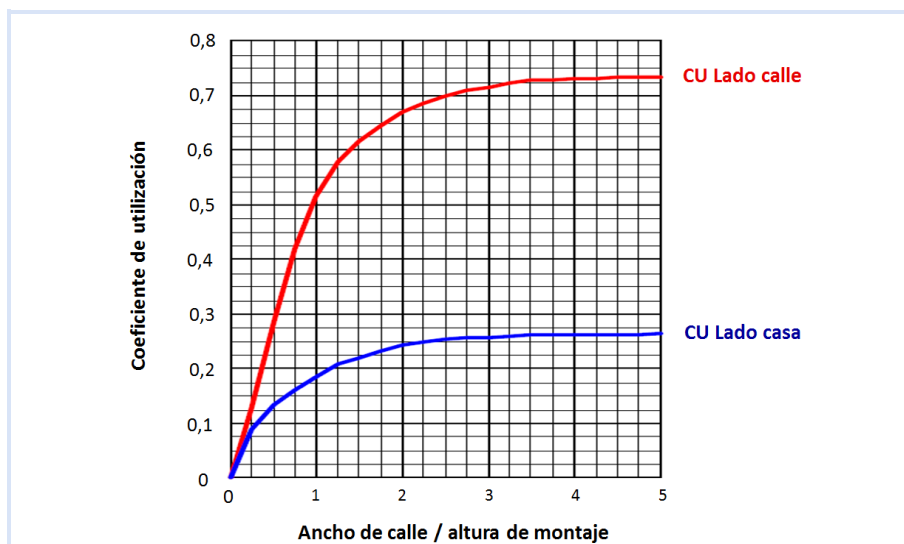


Figura 1.14 Coeficiente de utilización en luminarios de AP

Imagen adaptada de General Electric, 2011

I.1.3 Conceptos y parámetros de eficiencia energética en iluminación

De manera general, la eficiencia energética se relaciona con el uso óptimo de la energía requerida para lograr un objetivo determinado. En particular, en el caso de iluminación, la eficiencia energética se refiere a lograr una iluminación adecuada con una cantidad mínima de energía eléctrica; en este sentido, una iluminación adecuada implica tanto el cumplimiento de la normatividad aplicable, así como la consideración de los criterios de diseño propios de cada aplicación.

La eficiencia energética de un sistema se puede comparar y evaluar a través de índices energéticos, los cuales relacionan la energía –o insumos– utilizados por un sistema, con los productos o salidas del mismo. Por ejemplo, en el caso de una industria textil, el número de prendas producidas por cada kWh consumido representa un índice energético que puede ser utilizado para comparar la eficiencia energética de una fábrica con respecto a otras. En este sentido, a continuación se presentan algunos parámetros utilizados para evaluar la eficiencia energética de los sistemas de iluminación:

Potencia nominal de la fuente de luz. Es la potencia de entrada que requiere una fuente de luz para proporcionar su flujo luminoso nominal en condiciones normales de operación, se expresa en watt (W).

Potencia nominal del conjunto. Es la potencia total que demanda la fuente de luz en conjunto con su respectivo controlador, también condiciones normales de operación, se expresa en watt (W); es la potencia de línea que presentan los fabricantes de controladores en sus catálogos.

Eficacia. Es la relación del flujo luminoso de una fuente de luz entre su potencia nominal –o entre la potencia nominal del conjunto–, se expresa en lumen por watt (lm/W); se considera más importante la eficacia del conjunto ya que toma en cuenta las pérdidas del controlador. Cabe destacar que la eficacia se reduce conforme se deprecia la fuente de luz, por lo que es conveniente evaluar los sistemas considerando su eficacia media a lo largo de su vida o su eficacia a un cierto número de horas. La eficacia es un índice energético que permite evaluar y comparar la eficiencia energética de un equipo.

Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA). Es la relación de la carga conectada total que requiere el alumbrado entre el área total que ilumina, se expresa en watt por metro cuadrado (W/m²).

$$DPEA = \frac{\text{Carga conectada total para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}} \quad (1.4)$$

Indirectamente la DPEA que se puede obtener en una instalación depende del nivel de iluminación requerido, por lo que es un índice energético que permite evaluar y comparar directamente la eficiencia energética de los sistemas de iluminación de una instalación.

Adicionalmente, en las aplicaciones de iluminación se pueden aplicar otros índices energéticos tales como el consumo anual de energía por unidad de superficie (kWh/m^2) y el nivel de iluminación por unidad de potencia (lx/W).

I.2 Principales tecnologías de iluminación para alumbrado público

Como se mencionó anteriormente, los sistemas de vapor de sodio de alta presión son los de mayor uso para el alumbrado público en México, no obstante existen otras tecnologías de iluminación, desde las obsoletas, como luz mixta y vapor de mercurio, hasta las más modernas, como inducción y LEDs. Cada una de éstas presenta diferentes características, las cuales es importante conocer con el fin de seleccionar la más eficiente y adecuada a las necesidades e intereses de cada proyecto.

De la misma manera, una norma de eficiencia energética en alumbrado público debe considerar estas características, especialmente aquellos parámetros que influyen directamente en el desempeño de los sistemas, tanto en el consumo de los mismos como en los niveles de iluminación mantenidos, de forma que las tecnologías que cumplan con una eficiencia aceptable sean las que cumplan con las especificaciones establecidas en la normatividad.

En este sentido, a continuación se describen las principales tecnologías utilizadas en alumbrado público, tomando como base las familias de lámparas y sus características; se mencionan también algunos parámetros relacionados con los controladores requeridos para su operación, así como de los luminarios. Finalmente se hace un breve resumen de las tecnologías disponibles para control automático y monitoreo de los sistemas de AP, así como las opciones para la aplicación de energías renovables.

I.2.1 Sistemas de alta intensidad de descarga

Dentro de los sistemas de alta intensidad de descarga (HID por sus siglas en inglés) se encuentran las lámparas luz mixta (LM), vapor de mercurio de alta presión (VM), vapor de sodio de alta presión (VSAP) y vapor de aditivos metálicos (VAM). No obstante, debido a su baja eficacia, las lámparas de LM y VM se encuentran en desuso en la mayor parte del país, e incluso ha sido prohibida su comercialización a partir de la entrada en vigor de la NOM-028-ENER-2010, por lo que en el presente trabajo no se incluyen estas tecnologías.

De manera similar a las lámparas fluorescentes, las lámparas de alta intensidad de descarga (HID) producen luz a partir de una descarga eléctrica entre dos electrodos en una atmósfera de gases y compuestos metálicos en forma de vapor. La descarga se realiza en un tubo de arco en el que los diversos gases y compuestos se encuentran a una muy alta presión y temperatura, lo cual permite que la mayor parte de la radiación generada se encuentre en la región visible del espectro electromagnético. El tubo de arco está contenido en un bulbo de vidrio de forma típicamente ovoide o tubular, que brinda protección ante los cambios de temperatura y evita la corrosión de ciertos componentes; dependiendo de la tecnología, el bulbo puede o no contar con un recubrimiento fosfórico para reducir la radiación UV y/o modificar el aspecto cromático de la lámpara.

Las lámparas de HID tienen un tiempo de estabilización considerable, debido al tiempo que toma la ionización de los gases de relleno y la elevación de la temperatura hasta el punto en que se evapora el compuesto principal. Por tal motivo, dependiendo del tipo de lámpara, su tiempo de encendido toma de unos cuantos segundos hasta 5 minutos, asimismo el tiempo de reencendido es de 1 a 15 minutos ya que la temperatura debe disminuir hasta que la presión sea la adecuada para volver a iniciar la descarga eléctrica.

Los sistemas de HID se fabrican en un amplio rango de potencias. Sus características varían principalmente dependiendo de la tecnología, así como del modelo de la lámpara y su potencia, además de las características propias del tipo de balastro.

Balastos para lámparas de HID. Al igual que las lámparas fluorescentes, debido a la impedancia negativa que distingue a las lámparas de descarga en gas, las lámparas de HID requieren de un control que estabilice la corriente; a excepción de las lámparas de luz mixta, este control es un balastro electromagnético o electrónico que se encarga de proporcionar el voltaje y corriente necesarios para el encendido y operación de la lámpara.

En función del tipo de circuito, los balastos electromagnéticos para lámparas de HID se clasifican de la siguiente forma:

- a) Reactor serie (R): Consta básicamente de un inductor con un entrehierro en su núcleo. Aplica la tensión de línea directamente para encender y operar la lámpara, por lo que sólo se usa cuando el voltaje de encendido es menor a dicha tensión; su factor de potencia es muy bajo (0,50), pero puede corregirse con un capacitor en paralelo. Es el balastro más eficiente a tensión nominal, sin embargo su regulación es muy baja, ya que un $\pm 3\%$ de variación en la tensión de línea provoca hasta un $\pm 12\%$ de variación en la potencia de lámpara.

- b) Autotransformador alta reactancia (HX). Consiste en un autotransformador y un reactor serie combinados en una sola estructura. Se utiliza para elevar la tensión de entrada cuando el voltaje de línea es menor que el voltaje operación y/o encendido de la lámpara; su factor de potencia es muy bajo (0,5), aunque también se puede compensar mediante un capacitor. Con 5% de variación en la tensión de línea provoca hasta un $\pm 12\%$ de variación en la potencia de lámpara además de que tiene mayores pérdidas a tensión nominal.
- c) Autotransformador autorregulado (CWA). Combina un transformador y una bobina de choke en un sólo núcleo; en serie con la lámpara se conecta un capacitor, lo que ayuda a que el balastro tenga un alto factor de potencia ($> 0,90$). Tiene una mejor regulación de tensión ya que con $\pm 10\%$ de variación la potencia de la lámpara sólo varía $\pm 5\%$. Las pérdidas a tensión nominal son de valor medio si se les compara con otro tipo de circuitos.
- d) Transformador potencia constante (CWI). Es similar al circuito de un transformador, la diferencia reside en que el núcleo contiene un puente magnético entre primario y secundario, que permite una distribución de flujo semejante a la de un autotransformador. Al secundario se conecta un capacitor en serie con la lámpara, mejorando la regulación de tensión y el factor de potencia. Con $\pm 13\%$ de variación en la tensión, la potencia de la lámpara sólo varía $\pm 3\%$. Tiene mayores pérdidas a tensión nominal que los demás circuitos.

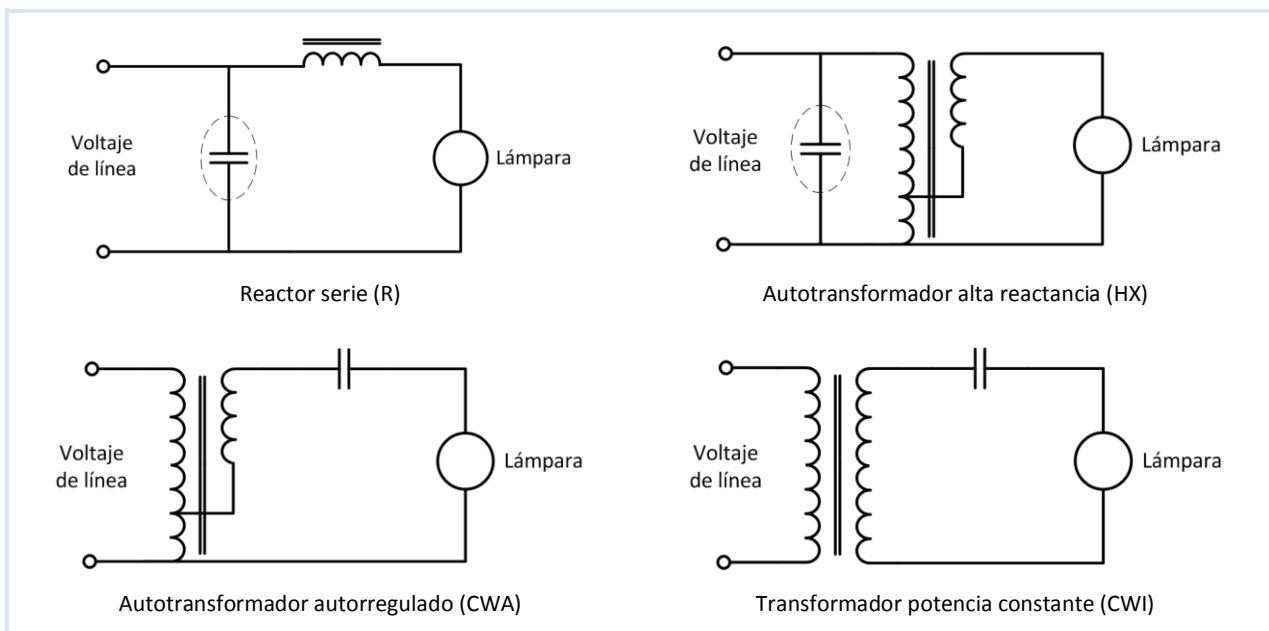


Figura 1.15 Circuitos de balastos electromagnéticos para lámparas de HID

Elaboración propia

La aplicación de cada circuito depende de las características de la lámpara y del voltaje que proporcionan los circuitos de alimentación. En particular, debido a que en México la regulación de tensión es de $\pm 10\%$, la mayoría de los balastos son de circuito autotransformador autorregulado, ya que a pesar de que los balastos con circuito potencia constante tienen mejor regulación, también tienen mayor costo y menor eficiencia.

Adicionalmente, existen balastos electromagnéticos de HID que cuentan la denominación de “bajas pérdidas” la cual implica que, debido a los materiales y componentes que se utilizan en su fabricación, tienen menor consumo que los balastos normales, reduciendo sus pérdidas hasta un 38%; por ejemplo, un balastro normal tipo CWA de alto factor de potencia marca Sola Basic para una lámpara de VSAP de 250 W, tiene una potencia de línea de 300 W mientras que en uno CWA de bajas pérdidas, de la misma marca, es de 288 W. Los balastos de bajas pérdidas tienen una mayor vida útil y una mejor regulación de tensión.

Por otro lado, a diferencia de los balastos electromagnéticos, en México los balastos electrónicos de HID para AP no han tenido tanta penetración como en EU y Europa; no obstante, la mayoría de lámparas de VSAP optimizado y VAM cerámico requieren de balastos electrónicos dedicados. Los balastos electrónicos para HID tienen bajas pérdidas y una muy buena regulación de tensión, algunos modelos mantienen constante la salida de luz y el consumo de energía incluso con variaciones hasta de -20% y $+10\%$ en el voltaje de línea. Además ayudan a que las lámparas enciendan de manera menos abrupta prolongando su tiempo de vida. Usualmente su factor de potencia es mayor a 0,95 y tienen una distorsión armónica menor al 10%.

También existen modelos de balastos atenuables que permiten disminuir los niveles de iluminación en las horas en que se tiene una menor afluencia de usuarios, reduciendo la potencia hasta en un 40%.

Luminarios para lámparas de HID. Existe una gran variedad de modelos de luminarios de HID para alumbrado público, algunos de los cuales están disponibles con varias distribuciones fotométricas. Los luminarios de HID se diseñan con curvas de Tipo I a Tipo IV, de cortas a largas y con cortes de haz desde non cut-off a full cut-off. El coeficiente de utilización tiene un valor típicamente entre 0,30 y 0,45, dependiendo del tipo de curva y la tecnología. Las nuevas lámparas de HID son más compactas, lo que ha permitido que en los últimos años se diseñen luminarios con mayor control óptico y mayor eficiencia.

A continuación se mencionan las principales características de los sistemas de HID de vapor de sodio de alta presión y vapor de aditivos metálicos.

I.2.1.1 Sistemas de vapor de sodio de alta presión

Los sistemas de vapor de sodio de alta presión (VSAP) se introdujeron al mercado hace más de 40 años para su uso en aplicaciones industriales, exteriores y de seguridad. Desde entonces han sido considerados la mejor opción para el alumbrado público debido principalmente a su alta eficacia.

En México fueron instalados por primera vez a mediados de los años setentas para sustituir algunos sistemas de vapor de mercurio; actualmente la mayor parte del alumbrado público del país está conformado por equipos de esta tecnología.

Las lámparas de vapor de sodio alta presión están constituidas por un tubo de descarga de material cerámico que contiene sodio, mercurio y un gas noble, generalmente xenón o argón. El tubo de arco se encuentra contenido en un bulbo de vidrio de forma ovoide o tubular, y en algunos modelos puede contar con un recubrimiento blanco; no requieren de recubrimiento fosfórico ya que la producción de radiación UV es mínima. Se diferencian de otras lámparas de HID en que el sodio es el principal elemento que se encarga de producir la luz, además de que únicamente poseen electrodos de operación.

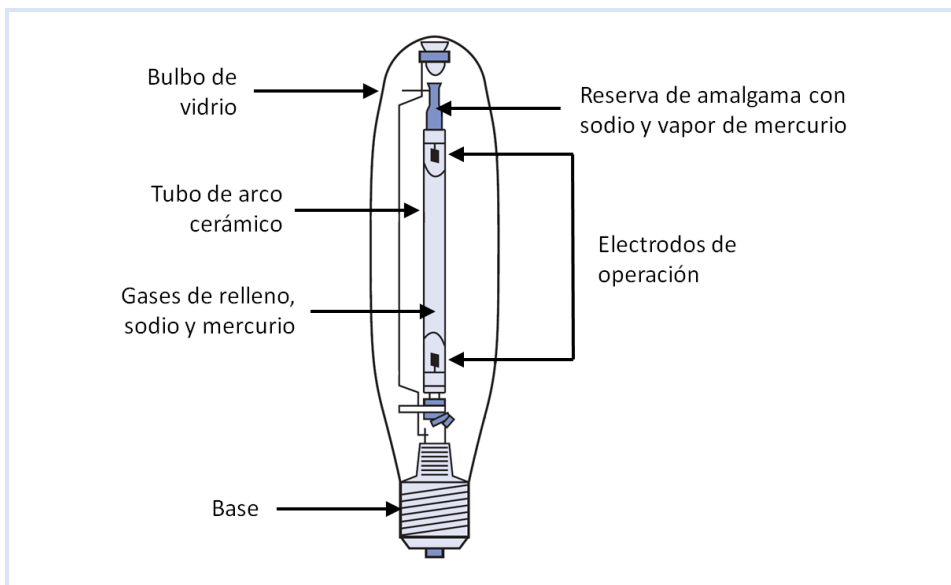


Figura 1.16 Estructura básica de una lámpara de VSAP

Imagen adaptada de Taylor, 2000

Además de balastro, al no tener electrodos de arranque, las lámparas de VSAP requieren de un ignitor que proporcione un pulso de alto voltaje con corriente limitada para poder encender y reencender.

Las lámparas de vapor de sodio de alta presión están disponibles en potencias de 35 a 1 000 W, aunque en alumbrado público las potencias más utilizadas son las de 70 a 250 W; en estas potencias la eficacia nominal de la lámpara es de 85 a 114 lm/W mientras que la del conjunto es de 64 a 100 lm/W.

Su vida nominal es de 18 000 a 30 000 horas, aunque típicamente en la mayoría de los modelos es de 24 000 horas. Su depreciación del flujo luminoso es baja, de 0,81 a 0,92 al 40% de la vida la nominal.

La luz de las lámparas de VSAP se percibe de un color rosa-dorado, teniendo una curva de distribución espectral concentrada en los tonos amarillos del espectro visible. Su temperatura de color es de 1 900 a 2 150 K, con un índice de rendimiento de color muy bajo, típicamente de 20 a 21, lo que dificulta el reconocimiento de detalles y colores.



Figura 1.17 Vialidades iluminadas con sistemas de VSAP

Imágenes del acervo de Genertek, S.A. de C.V.

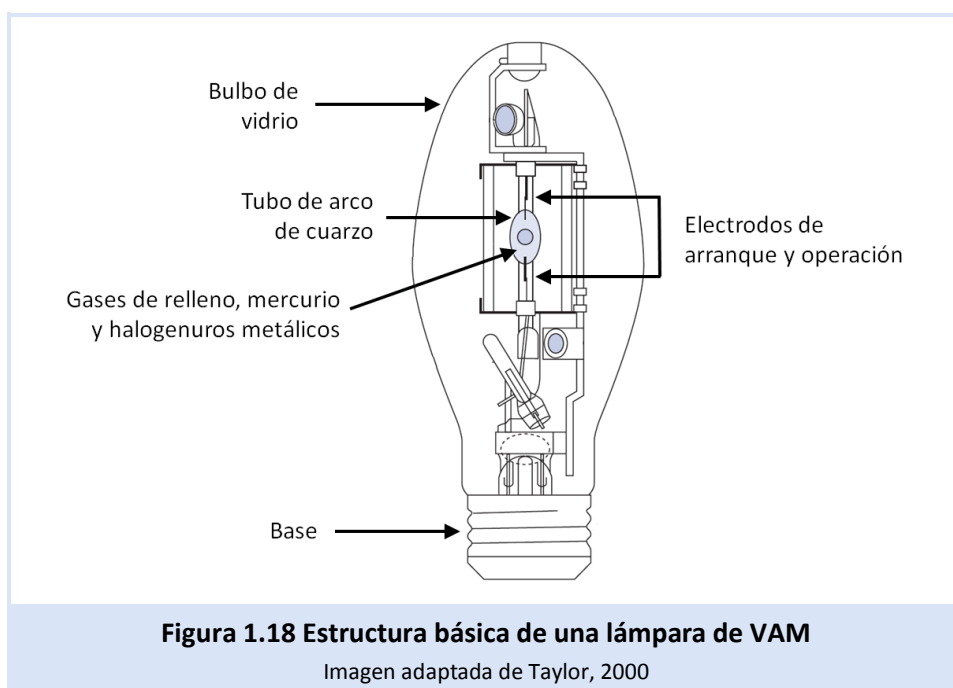
En la actualidad algunas marcas manejan versiones optimizadas de lámparas de vapor de sodio alta presión; estas lámparas tienen mayor salida luminosa que las lámparas de VSAP convencionales para modelos de la misma potencia, teniendo una eficacia de lámpara de 95 a 133 lm/W y una eficacia del conjunto de 82 a 128 lm/W. Su vida nominal es de 30 000 a 36 000 horas y tienen una depreciación de 0,87 a 0,95 al 40% de la vida nominal. Sin embargo, el aspecto cromático de estas lámparas es el mismo, teniendo una TCC y un IRC iguales al de las lámparas convencionales.

I.2.1.2 Sistemas de vapor de aditivos metálicos

Las lámparas de VAM se desarrollaron en los años sesentas para su uso en aplicaciones industriales. Por sus características y gracias a varias mejoras que han tenido, actualmente son

utilizadas en una gran variedad de aplicaciones. Desde hace algunos años en varias partes del mundo, incluyendo México, estas lámparas han sido utilizadas para sustituir a los sistemas de VSAP del alumbrado público.

Son similares a las lámparas de VM, aunque contienen adicionalmente otros compuestos metálicos como yoduro de sodio. Las lámparas utilizadas para alumbrado público son de forma ovoide o tubular, aunque existen modelos con otras formas que se utilizan en aplicaciones comerciales. El tubo de descarga es de cuarzo y cuentan con electrodos de arranque y de operación.



Estas lámparas tienen restricción en su posición de operación, ya sea horizontal o vertical, no obstante también las hay de posición universal, sin embargo en la mayoría de los casos el flujo luminoso y la vida son mayores en posición vertical.

Las lámparas de aditivos metálicos se fabrican en potencias de 32 a 2 000 W, aunque en AP las potencias más utilizadas son de 150 a 250 W; en estas potencias, la eficacia de la lámpara es de 63 a 82 lm/W y la del conjunto es de 52 a 72 lm/W.

Su vida y depreciación se ven afectadas drásticamente por el desgaste de los electrodos de arranque y de operación; su vida nominal es de 6 000 a 15 000 horas y su depreciación es de 0,50 a 0,79 al 40% de la vida nominal, siendo las lámparas con mayor depreciación.

Emiten una luz blanca de calidad media a alta, con una TCC de 3 600 a 4 200 K e IRC típicamente de 60 a 70, aunque en algunas versiones puede ser hasta de 90. Las lámparas de

esta tecnología tienen un alto corrimiento de color, es decir que, aun siendo de un mismo modelo y lote de fabricación, tienen un aspecto cromático diferente, lo cual se acentúa aún más con la depreciación.

Existen dos tipos de lámparas de aditivos metálicos mejoradas: las de arranque por pulso (VAM PS) y las de tubo de descarga cerámico (VAM C).

Entre otras diferencias, las lámparas de VAM PS tienen un ignitor que genera un pulso para el encendido, por lo que no requieren del tercer electrodo que tienen las versiones convencionales. En cuanto a su desempeño, su eficacia es un poco mayor a la de las lámparas convencionales y su depreciación es de 0,65 a 0,90 al 40% de la vida nominal, además de que tienen un menor corrimiento de color.

Las lámparas con tubo de descarga cerámico tienen una eficacia de lámpara 88 a 118 lm/W, mientras que la del conjunto es de 78 a 107 lm/W, en potencias de 60 a 150 W. Su vida nominal es de 12 000 a 30 000 horas y su depreciación es de 0,62 a 0,89 al 40% de la vida nominal. Estas lámparas son de luz blanca más cálida, con una TCC de 2 700 a 3 000 K con IRC de 65 a 90. Gracias a su tamaño compacto permiten un muy buen control de luz y el diseño de luminarios más eficientes con una gran variedad de curvas fotométricas.

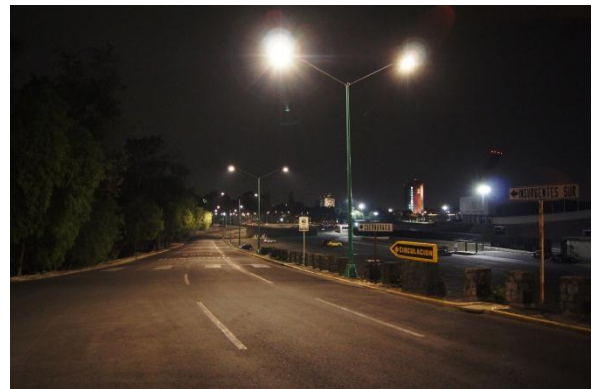


Figura 1.19 Vialidades iluminadas con sistemas de VAM C

Imágenes del acervo de Genertek, S.A. de C.V.

I.2.2 Sistemas de Inducción

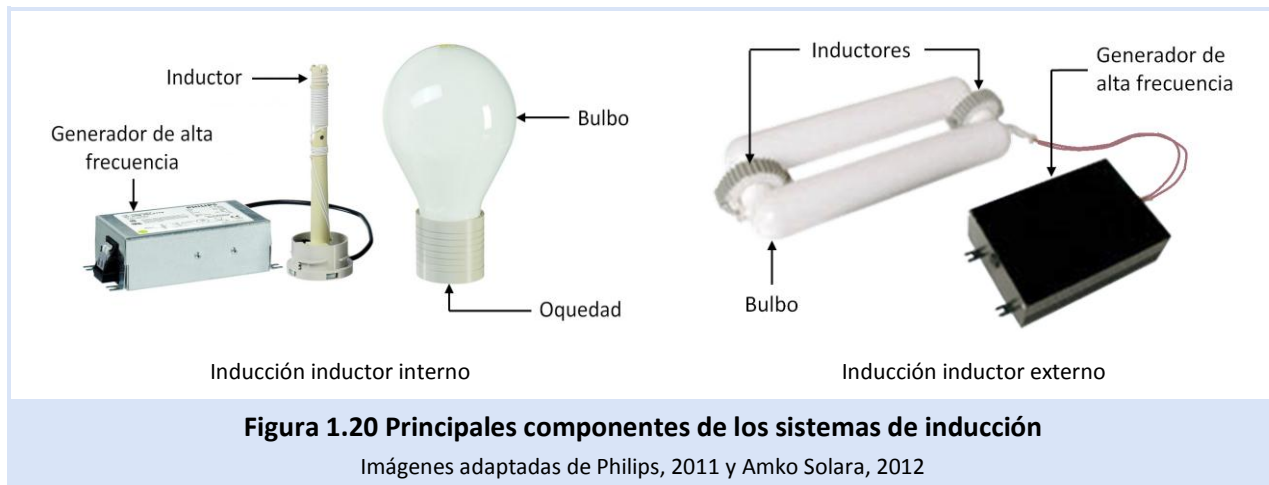
Es una tecnología relativamente reciente, ya que se introdujo comercialmente a inicios de los años noventa, no obstante su principio de operación fue descubierto por Nikola Tesla hace más de 100 años. En los últimos años ha comenzado a utilizarse en alumbrado público en varias partes del mundo, sin embargo en México son pocos los proyectos que se han realizado.

Aunque a simple vista las lámparas de inducción lucen semejantes a las lámparas fluorescentes, lo único que tienen en común, es que ambas generan la luz mediante el principio de la fluorescencia, sin embargo, los elementos que las conforman y el principio de operación son muy diferentes.

Existen dos tipos de lámparas de inducción que difieren en su forma y en algunas características: las de inductor interno (Inducción II) y las de inductor externo (Inducción IE).

Las lámparas de inducción II tienen un bulbo de forma similar a un bulbo A19, pero con una oquedad que va de la base al centro de la lámpara. Las lámparas de inductor externo tienen un bulbo tubular que forma una trayectoria cerrada rectangular o circular. En ambos casos, cuentan con un recubrimiento interno de fósforos o tierras raras y contienen una atmósfera de vapor de mercurio y gases nobles; en su interior no existen conexiones eléctricas ni partes metálicas, es decir, carecen de cualquier tipo de electrodos de arranque u operación.

A diferencia de las lámparas fluorescentes y de HID, ninguna de las dos requiere de balastro para su operación, sino de un generador de alta frecuencia que se conecta a uno o dos inductores con núcleo de ferrita sinterizada; mientras que las lámparas de inductor interno emplean un solo inductor en forma de antena que se coloca en la oquedad del bulbo, las lámparas de inductor externo emplean dos inductores en forma de dona que se colocan alrededor del bulbo en extremos opuestos de la lámpara.



En ambos casos el generador de alta frecuencia se encarga de inducir un campo magnético en los inductores, lo que genera un flujo de electrones en el interior del bulbo, los cuales impactan con los átomos de vapor de mercurio produciendo radiación UV que se convierte en luz al entrar en contacto con el recubrimiento fosfórico. A diferencia de las lámparas de HID, el tiempo de encendido y reencendido no excede de 5 segundos.

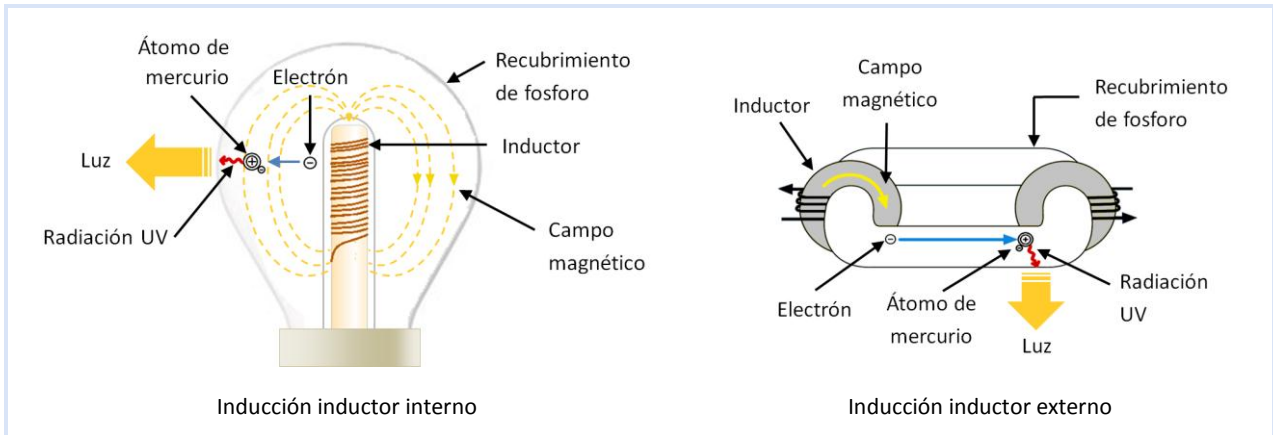


Figura 1.21 Principio de operación de los sistemas de inducción

Elaboración propia (izquierda) e imagen adaptada de Osram, 2011 (derecha)

Los generadores de inducción II operan con una frecuencia de salida de 2,3 a 3 MHz, mientras que en los de inducción IE es de 230 a 250 kHz. En ambos casos la mayoría de los generadores son de voltaje universal con una regulación de tensión de 10 a 20%, factor de potencia de 0,93 a 0,98 y una THD menor de 10 ó 20%. También existen algunos modelos con capacidad de atenuación hasta del 60% de la potencia de la lámpara.

Las lámparas de inducción II se fabrican en potencias de 15 a 200 W, tienen una eficacia de lámpara de 66 a 75 lm/W y una eficacia del conjunto de 62 a 72 lm/W. En las de inducción IE las potencias van de 40 a 400 W, la eficacia de lámpara es de 70 a 93 lm/W y la del conjunto es de 66 a 90 lm/W.

Debido a la ausencia de electrodos de arranque y de operación, las lámparas de inducción tienen mayor vida y menor depreciación en comparación con las tecnologías que si tienen electrodos; en ambos casos la mayoría de los fabricantes indican una vida nominal de 60 000 hasta 100 000 horas, no obstante de manera general se considera que su vida económica es de 60 000 horas y que en ese tiempo su depreciación es menor a 0,70.

Las lámparas de inducción están disponibles con una TCC de 2 700 K a 6 500 K y con un índice de rendimiento de color de 80 a 93, dependiendo de la marca, sin embargo, en el caso de las lámparas de inducción inductor externo la temperatura más común es 5 000 K.

En el caso de inducción IE, debido a la forma y tamaño de la lámpara, el control óptico de la luz es sumamente complicado, por lo que la mayoría de los luminarios tienen un bajo coeficiente de utilización, típicamente entre 0,25 y 0,35. Comúnmente sus curvas fotométricas son Tipo II y Tipo III, cortas y con corte vertical del haz de non cut-off a full cut-off.



Figura 1.22 Vialidades iluminadas con sistemas de inducción IE

Imágenes del acervo de Genertek, S.A. de C.V.

I.2.3 Sistemas de LEDs

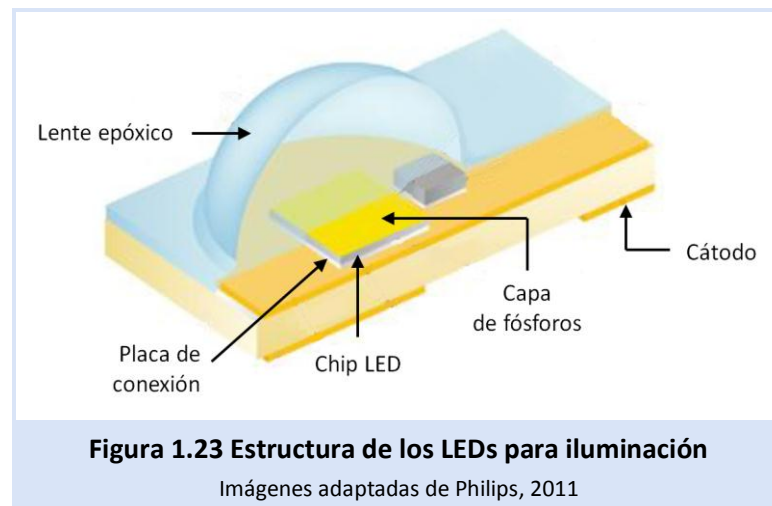
Los LEDs se introdujeron a mediados de los años sesentas como un componente utilizado de indicador o señalizador en los dispositivos electrónicos; desde entonces han evolucionado considerablemente, al grado de que actualmente existen equipos de LEDs para la mayoría de las aplicaciones de iluminación. Alrededor del mundo existen varios proyectos de AP con LEDs, sin embargo en México los proyectos con esta tecnología son mínimos debido principalmente al alto costo de los equipos y al desconocimiento de sus características.

Aún en la actualidad existe incertidumbre sobre la aplicación de los LEDs en la iluminación, específicamente relacionada con los métodos de prueba y medición, la determinación de la vida y la depreciación, así como con el control de temperatura en la junta. No obstante, el potencial que tienen los LEDs es la razón por la que se invierte tanto en la investigación y desarrollo de los mismos, al grado de que cada día se logra una mayor eficiencia y confiabilidad en su operación.

Los LEDs son dispositivos semiconductores que emiten luz como parte de la energía que disipan cuando la corriente eléctrica circula a través de ellos. Existe una gran variedad de LEDs aunque para aplicaciones de iluminación los más adecuados son los de alta brillantez. A diferencia de las lámparas de HID e inducción, los LEDs no contienen mercurio ni otros compuestos contaminantes.

Los LEDs no producen luz blanca de manera directa, sino en porciones muy pequeñas del espectro visible, resultando en una luz monocromática. Actualmente, el método más utilizado para que los LEDs produzcan luz blanca, es el que emplea LEDs azules con un recubrimiento

fosfórico para modificar el aspecto cromático de la luz; también existe el método RGB en el que se emplean LEDs de color rojo, verde y azul que se combinan para formar luz blanca.



Los LEDs se integran, en diferentes cantidades y arreglos, en luminarios diseñados con una óptica dedicada y con sistemas de disipación de calor que permiten controlar su temperatura en un rango óptimo para su operación.

A diferencia de las lámparas de HID y de inducción, los LEDs utilizan un driver que convierte la corriente de AC en corriente de DC con valores típicos de 200 a 1 000 mA y voltajes de 2 a 4 V. Los controladores deben integrar alguna forma de regulación que permita que las variaciones en la línea no afecten el control de corriente, ya que el flujo luminoso y la vida de los LEDs son muy sensibles a las variaciones de ésta. Adicionalmente, los drivers tienen la opción de integrar componentes que permiten la atenuación de la luz y en algunos casos la corrección del color. El tiempo de encendido y reencendido de los LEDs es mínimo, no excediendo los 5 segundos en ambos casos.

Específicamente, los luminarios de LEDs para alumbrado público están disponibles en potencias de 24 a 170 W. La eficacia de los luminarios es de 53 a 94 lm/W incluyendo las pérdidas del driver; no obstante que su eficacia aún no es tan alta, el control de luz que tienen los LEDs permite que el coeficiente de utilización de los luminarios sea muy alto, alcanzando valores de hasta 0,8 en comparación con los luminarios de HID e inducción que tienen un CU entre 0,25 y 0,45.

Gracias a que carecen de electrodos de arranque y operación, los LEDs tienen una vida nominal mínimo de 50 000 horas en equipos de alta calidad. A diferencia de las otras tecnologías, la vida nominal se especifica a una depreciación de 0,70 del flujo luminoso inicial, es decir, su depreciación al 100% de la vida nominal es de 0,70.

Los LEDs están disponibles en una amplia gama de temperaturas de color; específicamente en el caso de los luminarios de alumbrado público su TCC es de 4 100 a 6 500 K, aunque usualmente con una TCC mayor a 6 000 K el color de la luz se torna violáceo. El índice de rendimiento de color depende principalmente del tipo y calidad del LED, sus valores están entre 70 y 85.



Figura 1.24 Vialidades iluminadas con sistemas de LEDs

Imágenes del acervo de Genertek, S.A. de C.V.

El Anexo A contiene algunas tablas con las características de una muestra representativa de lámparas de cada tecnología, en las potencias que normalmente se emplean en AP; estos datos han servido como base para citar las características antes mencionadas.

1.2.4 Sistemas de control

Existe una gran variedad de sistemas de control para alumbrado público con diversas funciones; estos equipos se pueden clasificar en sistemas de gestión remota y sistemas atenuables.

Sistemas de gestión remota. Los sistemas de gestión remota permiten conocer en tiempo real el estado de los luminarios (encendido/apagado), además de poder controlarlos de manera centralizada y distante. Funcionan con balastos dedicados que cuentan con microprocesadores y un sistema de comunicación alámbrica o inalámbrica; los datos se recopilan en una computadora central y se visualizan por medio de una interfaz gráfica, que además puede tener la opción de manejar una base de datos que incluya la información del censo de alumbrado público y un historial de cada equipo. Adicionalmente, el sistema de control se puede integrar con un sistema geomático con el que se obtiene la ubicación de cada luminario.

En general, los sistemas de gestión remota permiten saber si los equipos operan en los horarios adecuados y si existe alguna falla con los mismos, de manera que se haga un uso racional de la energía y se proporcione un mantenimiento oportuno.

Sistemas atenuables. Los sistemas atenuables funcionan por medio de balastros atenuables o dimmeables, que disminuyen el consumo de energía de los equipos al reducir los niveles de iluminación en las horas de menor tráfico vehicular y peatonal, de manera que no se afecte a los usuarios. Los balastros atenuables son dedicados para cada tipo tecnología, cuentan con un microprocesador que les permite optimizar el horario de operación del alumbrado público y realizar un control dinámico de la iluminación en función de la hora del día. Los balastros atenuables para sistemas de AP reducen hasta en un 40% la potencia de línea aunque, aunque el porcentaje en que se reduce la salida luminosa de los equipos es un poco mayor.

Los sistemas atenuables permiten hacer un uso racional de la energía al utilizar los sistemas de iluminación al 100% únicamente cuando se requieren, y atenuarlos cuando hay una menor afluencia de usuarios.

Existen algunos fabricantes que manejan productos que integran la gestión remota y la atenuación de los sistemas de alumbrado público en un mismo sistema.

I.2.5 Sistemas de alumbrado público con energías renovables

Los sistemas de alumbrado público pueden ser alimentados por medio energía renovable, ya sea instalando paneles solares y/o turbinas eólicas en el poste del luminario. Cualquiera que sea el caso, los luminarios pueden estar independientes o interconectados con la red eléctrica como respaldo.

Como la energía renovable no se encuentra disponible todo el tiempo, especialmente la energía solar, existen dos opciones para optimizar su aprovechamiento en los sistemas de alumbrado público:

Almacenamiento de la energía. Se utilizan baterías para almacenar la energía cuando es generada y después usarla durante las horas de operación de los equipos. Esta opción puede ser independiente de la red, por lo que es idónea cuando no se cuenta con abastecimiento de energía eléctrica; en caso de que se tenga conexión con la red, ésta puede ser utilizada como respaldo.

Interconexión a la red con medidores bidireccionales. Se instalan medidores bidireccionales que permiten aportar energía eléctrica a la red cuando se genera y no se requiere, o utilizar la energía de la red cuando no se genere la suficiente para abastecer al equipo o que incluso no se esté generando. De esta forma solo se paga la diferencia entre la energía consumida y la energía generada.

En ambos casos, usualmente se requiere de un inversor que se encargue de convertir la corriente directa, que se obtiene de los paneles o de la turbina, en corriente alterna adecuada para la alimentación de los equipos; existen algunos sistemas integrales de LEDs con paneles solares y baterías que no necesitan de inversor, ya que los LEDs funcionan con la corriente directa, sólo se requiere que el driver integre algunos elementos de regulación y protección necesarios para no afectar el funcionamiento óptimo del equipo.



El aprovechamiento de las energías renovables en los sistemas de alumbrado público permite reducir al máximo su consumo de energía; sin embargo, es importante no dejar de lado el uso de equipos eficientes y de larga vida, ya que aunque no se consuma energía, los sistemas pueden no proporcionar la iluminación adecuada, requerir mayor carga de la necesaria y/o generar un gasto considerable en mantenimiento. Es importante considerar que en la actualidad la implementación de estos equipos es limitada, debido a que la inversión inicial se incrementa de manera importante.

I.3 Normatividad nacional e internacional en alumbrado público

A nivel nacional e internacional existen diversas normas y recomendaciones referentes al uso de los sistemas de iluminación en diferentes aplicaciones, las cuales definen las características mínimas con las que deben cumplir a fin de proporcionar una iluminación adecuada y eficiente.

Adicionalmente, existen un sinnúmero de normas aplicables a los diferentes elementos que conforman los sistemas de iluminación. La presente tesis está enfocada a la evaluación de la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de vialidades, por tal motivo no se abordaran las normas aplicables a los equipos, sino únicamente las que se relacionan con su aplicación específica en vialidades.

I.3.1 Normas y recomendaciones internacionales

A nivel internacional, son dos las principales organizaciones que desarrollan normas y recomendaciones en iluminación:

Comisión Internacional de Iluminación. La CIE, por sus siglas en francés, es el máximo organismo en iluminación a nivel internacional; publica normas, reportes técnicos y recomendaciones sobre varios aspectos relacionados con la fotometría y la radiometría. En conjunto con la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) ha publicado diversas normas internacionales, como es el caso del estándar ISO 23539:2005(E) / CIE S 010/E:2004 *Photometry – The CIE System of physical photometry*, en el que se establece el sistema de fotometría de la CIE, que es la base de la ciencia de la iluminación. Referente al alumbrado de vialidades, algunos de los reportes técnicos y recomendaciones que ha publicado son los siguientes:

- CIE 115:2010 *Lighting of roads for motor and pedestrian traffic*
- CIE 132-1999 *Design methods for lighting roads*
- CIE 140-2000 *Road lighting calculations*
- CIE 194:2011 *On site measurements of the photometric properties of road and tunnel lighting*

Sociedad de Ingenieros en Iluminación. La IES, por sus siglas en inglés, es una organización que agrupa ingenieros, arquitectos, fabricantes, distribuidores, y todos aquellos involucrados en algún campo de la iluminación, principalmente de Estados Unidos, Canadá y México, no obstante tiene presencia en gran parte del mundo. Una parte de sus miembros participan directamente en comités que se encargan de desarrollar normas, recomendaciones y guías de diseño, así como procedimientos de medición, pruebas y cálculos.

La IES en conjunto con ANSI publican la norma ANSI/IES RP-8-00 *Roadway Lighting*, que es la base para el diseño de los sistemas de iluminación de vialidades en Estados Unidos. Asimismo, la IES ha publicado otros documentos que dan recomendaciones sobre aspectos particulares del alumbrado exterior y de vialidades.

Entre otras cosas, la norma ANSI/IES RP-8-00 establece los niveles de iluminación mantenidos y las relaciones de uniformidad que se requieren en los diferentes tipos de vialidad de acuerdo al flujo peatonal que tengan –alto, medio o bajo–. Los niveles de iluminación son expresados en luminancia e iluminancia, en el caso de la iluminancia se establecen de acuerdo al tipo de pavimento –R₁, R₂, R₃ o R₄–, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1.1 Niveles mantenidos de iluminancia promedio recomendados por la IES en la norma ANSI/IES RP-8-00

Illuminating Engineering Society, 2005

Road and pedestrian conflict area		Pavement classification		
Road	Pedestrian conflict area	R ₁ [lx]	R ₂ & R ₃ [lx]	R ₄ [lx]
Freeway Class A		6	9	8
Freeway Class B		4	6	5
Expressway	High	10	14	13
	Medium	8	12	10
	Low	6	9	8
Major	High	12	17	15
	Medium	9	13	11
	Low	6	9	8
Collector	High	8	12	10
	Medium	6	9	8
	Low	4	6	5
Local	High	6	9	8
	Medium	5	7	6
	Low	3	4	4

Cabe mencionar que las normas de algunos otros países son adaptaciones de la RP-8-00, como es el caso de México con el artículo 930 de la norma NOM-001-SEDE-2005.

Por otro lado, también existen las normas europeas que son publicadas por el Comité Europeo para la Normalización (CEN por las siglas de Comité Européen de Normalisation); en el caso del alumbrado público la más importante es la norma EN 13201 *Road Lighting* que se divide en tres partes: EN 13201-2:2003 *Road Lighting - Part 2: Performance requirements*, EN 13201-2:2003 *Road Lighting - Part 3: Calculation of performance* y EN 13201-2:2003 *Road Lighting - Part 3: Methods for measuring lighting performance*. No obstante esta norma está incompleta, ya que la parte 1, en la que se establecen los niveles de iluminación para cada clase de iluminación, no ha sido aprobada, por lo que por el momento cada país de la Unión Europea especifica los niveles de iluminación de acuerdo a sus propios criterios (Licht.de, 2007).

I.3.2 Normas nacionales

A nivel nacional, las normas oficiales que establecen especificaciones para los sistemas de alumbrado en vialidades son la NOM-001-SEDE-2005 y la NOM-013-ENER-2004:

I.3.2.1 NOM-001-SEDE-2005

La NOM-001-SEDE-2005 *Instalaciones eléctricas (utilización)*, es una norma de la Secretaría de Energía sobre seguridad en instalaciones eléctricas. Su artículo 930, referente al alumbrado público, establece las disposiciones para proporcionar una iluminación adecuada en las vialidades y áreas exteriores públicas con el fin de promover la seguridad de las personas, así como facilitar y fomentar el tránsito vehicular y peatonal. Este artículo se encuentra estructurado de la siguiente forma:

A. Disposiciones generales. Se establecen el objetivo y campo de aplicación del artículo, las definiciones aplicables y la descripción de los tipos de vialidades y zonas exteriores públicas.

B. Especificaciones de los sistemas de alumbrado. Este apartado se divide en tres artículos:

Artículo 930-4: Menciona que las carreteras y autopistas pueden o no estar iluminadas, y adicionalmente restringe el uso de las lámparas incandescentes, fluorescentes, tungsteno-halógeno, vapor de mercurio y luz mixta para el alumbrado de vialidades.

Artículo 930-5: Proporciona especificaciones auxiliares incluyendo las características de reflectancia de los diferentes tipos de pavimento, las cuales se incluyen en la tabla 930-5(a), que es una adaptación de la norma ANSI/IES RP-8-00 y que se transcribe a continuación:

Tabla 1.2 Características de reflectancia del pavimento de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2005

Clase	Qo	Descripción	Tipo de Reflectancia
R ₁	0,1	Superficie de concreto, cemento portland, superficie de asfalto difuso con un mínimo de 15% de agregados brillantes artificiales.	Casi difuso
R ₂	0,07	Superficie de asfalto con un agregado compuesto de un mínimo de 60% de grava de tamaño mayor que 10 mm. Superficie de asfalto con 10 a 15% de abrillantador artificial en la mezcla agregada.	Difuso especular
R ₃	0,07	Superficie de asfalto regular y con recubrimiento sellado, con agregados oscuros tal como roca o roca volcánica, textura rugosa después de algunos meses de uso (Típico de autopistas).	Ligeramente especular
R ₄	0,08	Superficie de asfalto con textura muy tersa.	Muy especular

Artículo 930-6: Establece los niveles mantenidos de luminancia e iluminancia que requieren las vialidades, túneles, estacionamientos públicos abiertos y cerrados, así como sus relaciones de uniformidad. Los niveles de luminancia para vialidades se indican en la tabla 930-6(a) y los de iluminancia en la tabla 930-6(c), las cuales se transcriben a continuación:

Tabla 1.3 Valores mantenidos de luminancia de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2005

Clasificación de vialidades	Luminancia promedio mínima	Uniformidad de luminancia		Relación de luminancia de deslumbramiento
	Lprom [cd/m ²]	Lprom/Lmín	Lmax/Lmin	Ld/Lprom
Autopistas y carreteras	0,4	3,5 a 1	6 a 1	0,3 a 1
Vías de acceso controlado y vías rápidas	1,0	3 a 1	5 a 1	0,3 a 1
Vías principales y ejes viales	1,2	3 a 1	5 a 1	0,3 a 1
Vías primarias o colectoras	0,8	3 a 1	5 a 1	0,4 a 1
Vía secundaria residencial Tipo A	0,6	6 a 1	10 a 1	0,4 a 1
Vía secundaria residencial Tipo B	0,5	6 a 1	10 a 1	0,4 a 1
Vía secundaria industrial Tipo C	0,3	6 a 1	10 a 1	0,4 a 1

Tabla 1.4 Valores mínimos mantenidos de iluminancia promedio [lx] de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2005

Clasificación de vialidades	Clasificación del pavimento			Uniformidad de la iluminancia	Andadores	
	R ₁	R ₂ y R ₃	R ₄	Eprom/Emin	Iluminancia promedio horizontal mínima	Iluminancia vertical promedio para seguridad
Autopistas y carreteras	4	6	5	3 a 1	---	---
Vías de acceso controlado y vías rápidas	10	14	13	3 a 1	---	---
Vías principales y ejes viales	12	17	15	3 a 1	10	22
Vías primarias y colectoras	8	12	10	4 a 1	---	---
Vías secundaria residencial Tipo A	6	9	8	6 a 1	---	---
Vías secundaria residencial Tipo B	5	7	6	6 a 1	10	22
Vías secundaria industrial Tipo C	3	4	4	6 a 1	6	11
Andadores alejados de vialidades	---	---	---	---	5	5
Túneles de peatones	---	---	---	---	43	54

A. Especificaciones de los componentes. Indica las características generales que deben cumplir los componentes que integran el alumbrado público.

B. Métodos de alambado. Establece las características que deben cumplir las instalaciones eléctricas destinadas al alumbrado público.

I.3.2.2 NOM-013-ENER-2004

La NOM-013-ENER-2004 *Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas*, es una norma de la Secretaría de Energía cuyo fin es regular la eficiencia energética de los sistemas de iluminación de vialidades, áreas exteriores públicas y estacionamientos públicos. Establece niveles mínimos de eficiencia energética en términos de la densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) y de la eficacia de las fuentes de luz. El campo de aplicación de la NOM-013-ENER-2004 se limita a los sistemas nuevos de iluminación, así como a las ampliaciones de instalaciones ya existentes.

Esta norma clasifica las vialidades en autopistas, carreteras, ciclistas, vías rápidas, vías principales y vías secundarias. Los valores máximos permitidos de DPEA en vialidades se establecen en la tabla 1 de dicha norma, la cual se presenta en función del nivel de iluminancia y del ancho de calle como se muestra a continuación:

Tabla 1.5 Valores máximos de DPEA para vialidades [W/m²] de acuerdo a la NOM-013-ENER-2004

Nivel de luminancia [lx]	Ancho de calle [m]			
	7,5	9,0	10,5	12,0
3	0,26	0,23	0,19	0,17
4	0,32	0,28	0,26	0,23
5	0,35	0,33	0,30	0,28
6	0,41	0,38	0,35	0,31
7	0,49	0,45	0,42	0,37
8	0,56	0,52	0,48	0,44
9	0,64	0,59	0,54	0,50
10	0,71	0,60	0,61	0,56
11	0,79	0,74	0,67	0,62
12	0,86	0,81	0,74	0,69
13	0,94	0,87	0,80	0,75
14	1,01	0,95	0,86	0,81
15	1,06	1,00	0,93	0,87
16	1,10	1,07	0,99	0,93
17	1,17	1,12	1,03	0,97

La tabla 1 de la NOM-013-ENER-2004 tiene una nota que indica que el nivel de iluminación a utilizar depende del tipo de vialidad a iluminar, de acuerdo con lo establecido en el artículo 930 de la NOM-001-SEDE.

Únicamente en el caso de las vialidades alumbradas con superpostes, los valores de DPEA se especifican en función del área total de las vialidades a iluminar de acuerdo a la tabla 2 de la NOM-013-ENER-2004, la cual se reproduce a continuación:

Tabla 1.6 Valores máximos de DPEA para vialidades iluminadas con superpostes de acuerdo a la NOM-013-ENER-2004

Área a iluminar [m ²]	Densidad de potencia [W/m ²]
< 2 500	0,52
de 2 500 a < 5 000	0,49
de 5 000 a 12 500	0,46
> 12 500	0,44

I.3.2.3 NOM-028-ENER-2010

A finales de 2010 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la NOM-028-ENER-2010 *Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba*, cuyo objetivo es establecer valores mínimos de eficacia para las lámparas de uso general utilizadas en los sectores residencial, servicios, industrial y alumbrado público.

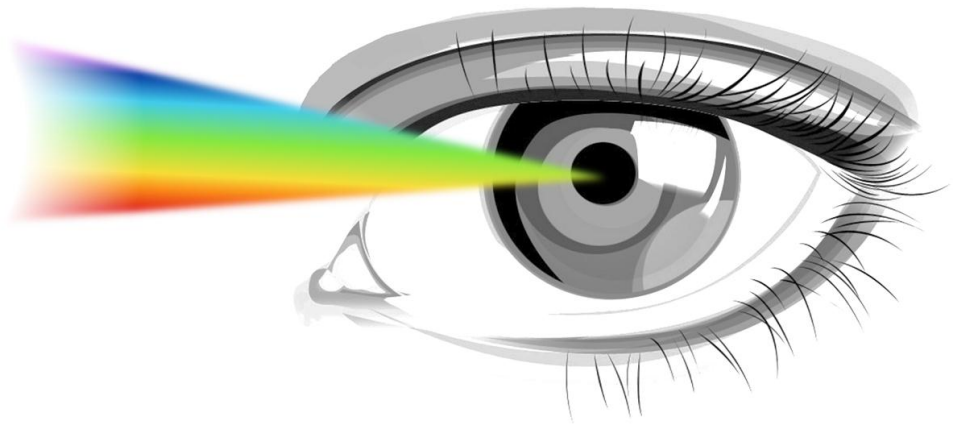
Con la implementación de esta norma se pretende que las lámparas que no cumplan con una eficacia mínima dejen de ser comercializadas en el territorio nacional. El campo de aplicación incluye a las lámparas incandescentes, incandescentes con halógenos, fluorescentes lineales, fluorescentes compactas autobalastadas y lámparas de HID, que son las de mayor uso en los sectores antes mencionados. No aplica, entre otras, a las lámparas de inducción ni a los LEDs.

A continuación se muestran las eficacias requeridas para las lámparas de HID –que son las que se utilizan en alumbrado público–, a partir de febrero de 2011 de acuerdo a la tabla 7 de la NOM-028-ENER-2010, estas eficacias aplican de manera general, no sólo para alumbrado público:

Tabla 1.7 Eficacias mínimas de las lámparas de HID de acuerdo a la NOM-028-ENER-2010

Tipo de lámpara	Rango	Eficacia mínima [Lm/W]
Luz mixta	---	60
Vapor de mercurio	---	60
Aditivos metálicos de cuarzo	Menor a 175 W	60
Aditivos metálicos de cuarzo	Mayor o igual a 175 W	65
Aditivos metálicos cerámicos	---	70
Vapor de sodio alta presión	Menor o igual a 100 W	75
Vapor de sodio alta presión	Mayor a 100 W	90

Es importante que las normas de eficiencia energética en iluminación que se emitan posteriormente, sean congruentes con las especificaciones que se establecen en la norma NOM-028-ENER-2010.



II. El paradigma de la medición de la luz

La ciencia de la iluminación y sus aplicaciones se basan en la caracterización del desempeño de la visión humana. Como se mencionó anteriormente, el espectro visible del ojo humano está comprendido en una pequeña zona del espectro electromagnético entre 380 nm (violeta) y 760 nm (rojo), fuera de este intervalo el ojo es ciego a cualquier otra radiación electromagnética. Sin embargo, el fenómeno de la visión no sólo depende de un parámetro físico como lo es la radiación visible y la cantidad de energía radiante, sino que también depende de cuestiones fisiológicas y psicológicas que determinan la forma en que el ojo humano percibe la luz, así como el desempeño que tiene ante diferentes condiciones de iluminación.

Básicamente, la luz entra al ojo humano a través de la córnea la cual refracta la luz hacia el orificio que conforma la pupila hasta llegar al cristalino que se encarga de proyectar una imagen invertida sobre la retina. En la retina se encuentran dos tipos de fotorreceptores encargados de recibir las imágenes e impresiones visuales, los conos y los bastones, los cuales transforman la luz en impulsos nerviosos que llegan a la parte posterior del cerebro por medio del nervio óptico.

Los conos se encuentran concentrados principalmente en la parte central de la retina, especialmente en la fovea, y son alrededor de 6 a 7 millones de células que se clasifican en conos rojos (L), verdes (M) y azules (S) de acuerdo a las longitudes de onda a las que presentan mayor sensibilidad. Los bastones se sitúan mayoritariamente en la periferia de la retina y son alrededor de 120 millones de células. Los conos tienen una baja sensibilidad a la luz (requieren mayor

cantidad de luz) y permiten una buena identificación de colores y detalles, en cambio, los bastones tienen una alta sensibilidad a la luz, son muy sensibles al movimiento, pero tienen una baja identificación de colores y detalles. Coloquialmente se dice que los conos están asociados a la “visión de día” mientras que los bastones están asociados a la “visión nocturna”.

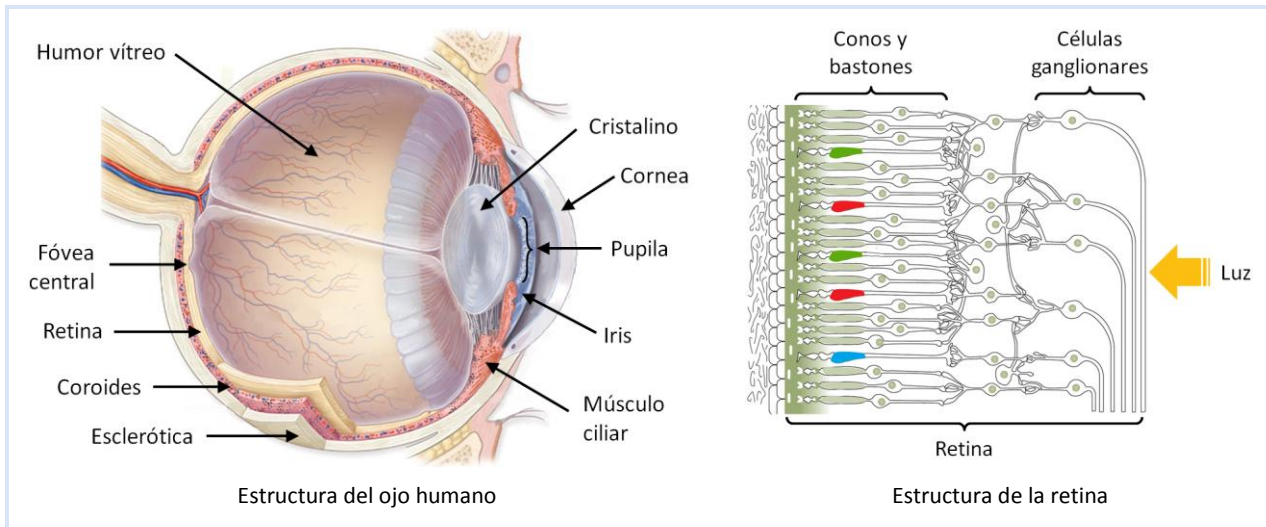


Figura 2.1 Estructura del ojo humano y los fotorreceptores

Imágenes adaptadas de Eyes and Eyesight, 2012 y Boyce, 2009

Cabe mencionar que en el año 2002 se anunció el descubrimiento de un nuevo fotorreceptor llamado melanopsin; este receptor forma parte de las células ganglionares localizadas en las regiones no centrales de la retina y, a diferencia de los conos y los bastones, no realiza una función visual sino que influye en la regulación del ciclo circadiano.

El sistema visual realiza ajustes continuos a fin de proporcionar una visión adecuada ante las diferentes condiciones que se presentan, estos ajustes se dividen en dos tipos de procesos visuales:

Acomodación. Es la habilidad que tiene el ojo humano para enfocar un objeto a diferentes distancias. El proceso de acomodación se realiza a través del cristalino, el cual modifica su curvatura al ser presionado o relajado por los músculos ciliares.

Adaptación. Es la capacidad que tiene el ojo humano para ajustar su sensibilidad ante los cambios de niveles de iluminación. En un cambio a niveles bajos de iluminación la adaptación está determinada principalmente por los bastones, mientras que en un cambio a niveles altos está definida por los conos y toma un menor tiempo; un papel menor en la adaptación lo llevan a cabo la modificación del tamaño de la pupila y la adaptación neuronal. El tiempo de adaptación depende del nivel de iluminación previo y de la magnitud del cambio de nivel de iluminación.

Por otro lado, la visibilidad de un objeto en un determinado entorno está dada por seis factores principales: el contraste, la luminancia, la iluminancia, el tamaño del objeto, el tiempo del estímulo y la edad del observador; estos factores están interrelacionados de manera que para mantener una visibilidad equivalente, la deficiencia en uno puede ser compensada –dentro de ciertos límites– mediante el aumento de algún otro factor.

II.1 Sistema de fotometría actual

Desde fines del siglo XIX se realizaron los primeros estudios para caracterizar la visión del ojo humano. Inicialmente, en 1888, Samuel Langley descubrió que el desempeño del ojo estaba relacionado con la longitud de onda de la luz, así como con el nivel de iluminación; a partir de ese momento, varios científicos realizaron estudios con diversas condiciones de iluminación, obteniendo diferentes modelos experimentales.

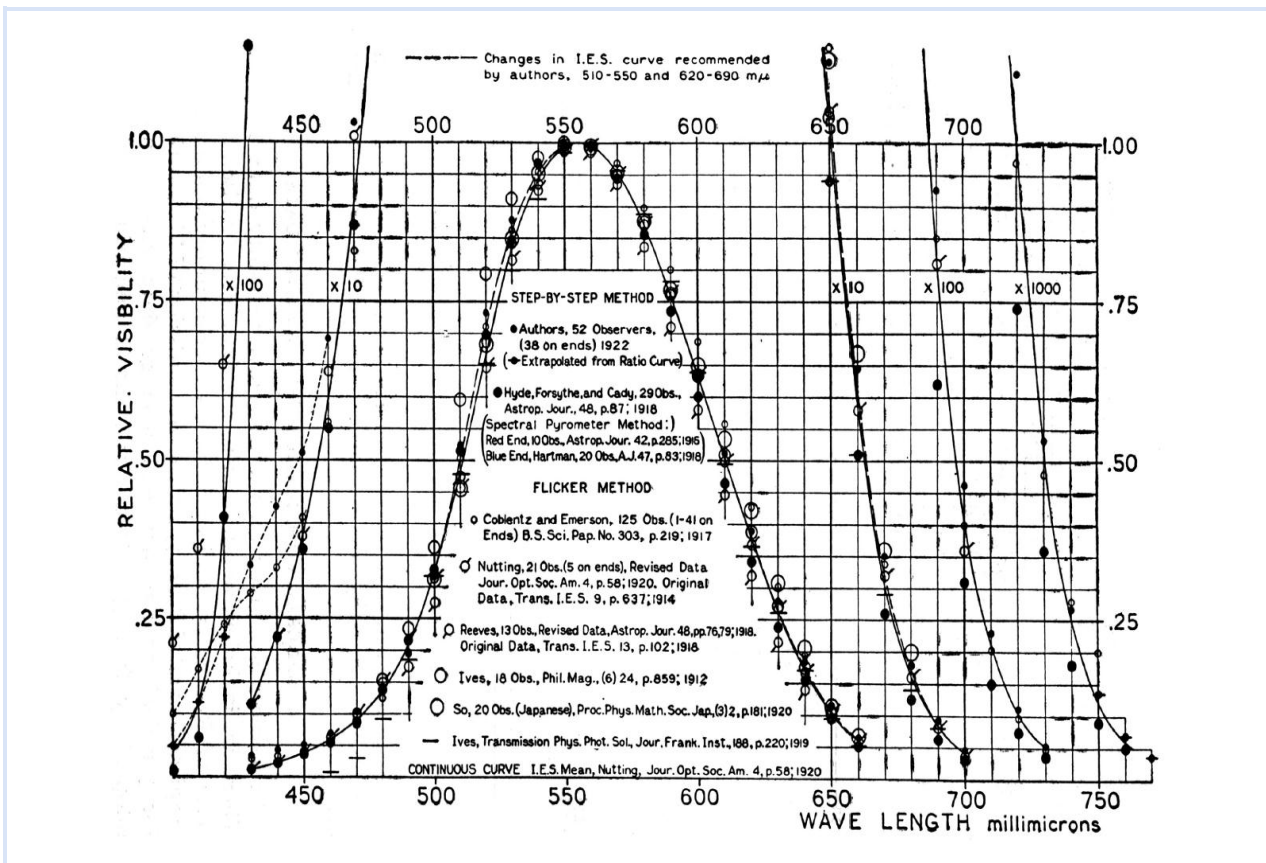
Desde aquellos años se encontró que la sensibilidad del ojo humano estaba caracterizada por una curva de distribución gaussiana en la que las colas se encontraban en las longitudes de onda correspondientes al color azul y al color rojo. Adicionalmente, se observó que la curva que describía la sensibilidad del ojo humano en condiciones de “niveles relativamente altos de iluminación” sufría un corrimiento hacia los tonos azules estando en condiciones de “niveles relativamente bajos de iluminación”, a lo que se le denomina efecto Purkinje.

En 1907, Perley Nutting fue el primero en concebir la luz como un concepto físico en función de la visión del ojo humano; basándose en estudios preliminares realizados con “niveles bajos de iluminación” –ya que no se tenían datos suficientes con “niveles altos de iluminación”–, definió una función de luminosidad de la radiación, cuyas unidades denominaría como lúmenes (lm), como el producto de una función de visibilidad a la radiación, por la radiación espectral de la fuente de luz. En otras palabras, Nutting propuso que el flujo luminoso de una fuente de luz estuviera definido por la suma de su energía radiante visualmente percibida por el ojo humano a cada longitud de onda. Al haber definido una función obtenida con niveles bajos de iluminación (función escotópica), se hacía evidente la necesidad de contar con una función para niveles altos de iluminación (función fotópica), que aplicara para las condiciones normales de la vida diaria.

Posteriormente, para 1910 ya había sido obtenida una función fotópica, sin embargo, aún existían algunas discrepancias entre los datos que se obtenían con observadores de diferentes países, por lo que, para poder obtener datos que se pudieran aplicar como un estándar internacional, era necesario diseñar un experimento que generara resultados más confiables. Lo anterior derivó en la realización de nuevos experimentos, entre los cuales destacó el de Edward

Hyde, que empleo un método al que se le llamó “Step-by-step”. A diferencia del método “Flicker”, que se utilizó para obtener la función fotópica y que se trataba de que el observador llegara a percibir el mismo brillo al alternar una fuente de luz monocromática con una fuente patrón, el método Step-by-step alternaba fuentes de luz monocromáticas con una longitud de onda cercana una de la otra, por lo que al tener un color similar era más fácil llegar a percibir el mismo brillo. Este método demostró que el método de Flicker era adecuado siempre y cuando se utilizará un número de observadores suficiente.

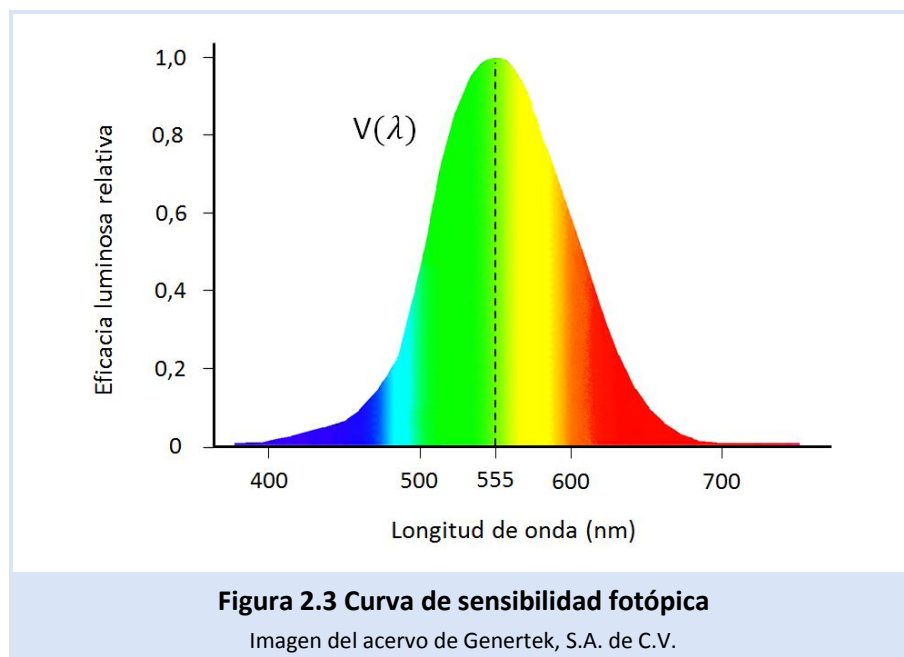
Finalmente en 1923, K. S. Gibson y E. P. Tyndall presentaron un trabajo en el que resumían los resultados de 8 experimentos para determinar la función de visibilidad fotópica, de los cuales 6 habían sido realizados con el método de Flicker y 2 con el método Step-by-step, demostrando resultados consistentes con ambos métodos. El procedimiento y los datos que se obtuvieron probaron ser satisfactorios para definir la función de visibilidad fotópica, siendo finalmente adoptada por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) el año de 1924 en la ciudad de Genova.



II.1.1 Función fotópica de eficacia luminosa espectral

La función de visibilidad fotópica constituye la base del sistema de fotometría actual desde 1924, proporcionando un método para evaluar la luz en términos de la sensibilidad espectral del ojo humano. Actualmente esta función se denomina formalmente función fotópica de eficacia luminosa espectral y se designa como $V(\lambda)$.

La curva definida por la función fotópica tiene la forma de una campana de Gauss donde las colas corresponden al violeta y al rojo, mientras que el pico se encuentra entre los colores verde y amarillo. A cada longitud de onda dentro del espectro visible, le corresponde un valor en por unidad que determina la sensibilidad del ojo humano, encontrando el pico de sensibilidad a una longitud de onda de 555 nm.



Al analizar con más detalle la curva de sensibilidad fotópica, se puede observar que las longitudes de onda correspondientes a los tonos verde, amarillo naranja y rojo, tienen valores mayores que las longitudes de onda que corresponden a los tonos azules. Dicho de otra manera, de acuerdo a la función fotópica, el ojo humano es muy sensible a las fuentes de luz que tienen una distribución espectral con mayor aportación en los tonos verde amarillo y rojo, mientras que tiene una baja sensibilidad a las fuentes de luz que poseen una distribución espectral con mayor aportación en los tonos azules.

En la práctica, las fuentes de luz que tienen mayor aportación en los tonos verde, amarillo y rojo, son las llamadas “fuentes de luz amarilla” entre las que se encuentran la lámpara de

vapor de sodio alta presión, con una TCC típicamente de 2 100 K, y el caso más extremo, la lámpara de vapor de sodio baja presión (VSBP), cuya TCC es de 1 800 K, que es considerada una fuente de radiación monocromática con una longitud de onda muy cercana al pico de la función de fotópica. Por otro lado, están las “fuentes de luz blanca” que tiene mayor aportación en los tonos azules, como es el caso de las lámparas de aditivos metálicos, inducción y LEDs, todos ellos con una TCC entre 2 700 K y 6 500 K.

De esta forma, debido a que el flujo luminoso se determina con base en la función fotópica, las fuentes de luz amarilla pueden alcanzar mayor eficacia que las fuentes de luz blanca para una misma potencia dada, es decir, de acuerdo al sistema de fotometría actual, las fuentes de luz amarilla son más eficaces que las fuentes de luz blanca. Esta es la razón principal por la que las lámparas comerciales de mayor eficacia son las de VSAP y VSBP.

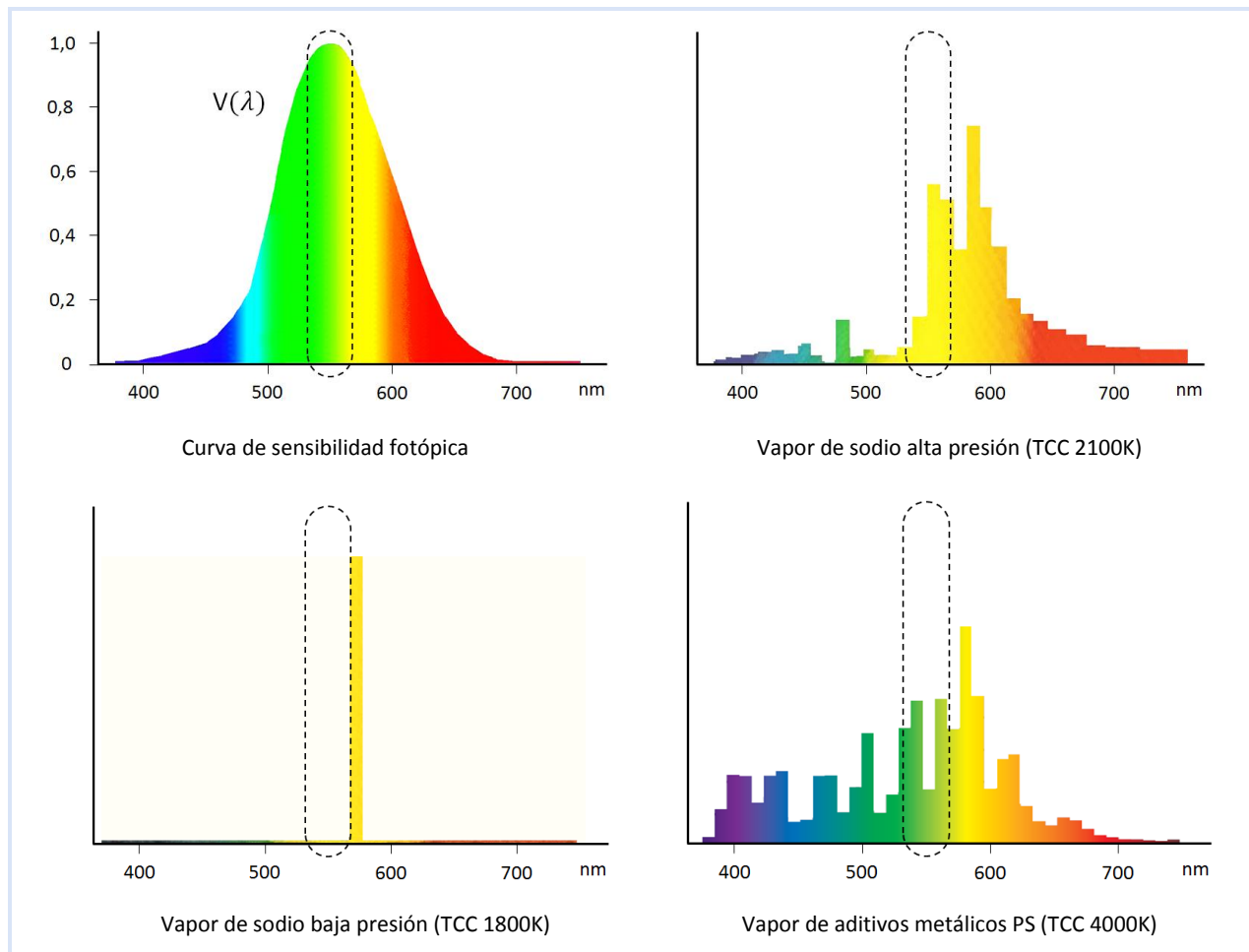


Figura 2.4 Curva de sensibilidad fotópica en comparación con la distribución espectral de VSBP, VSAP y VAM PS

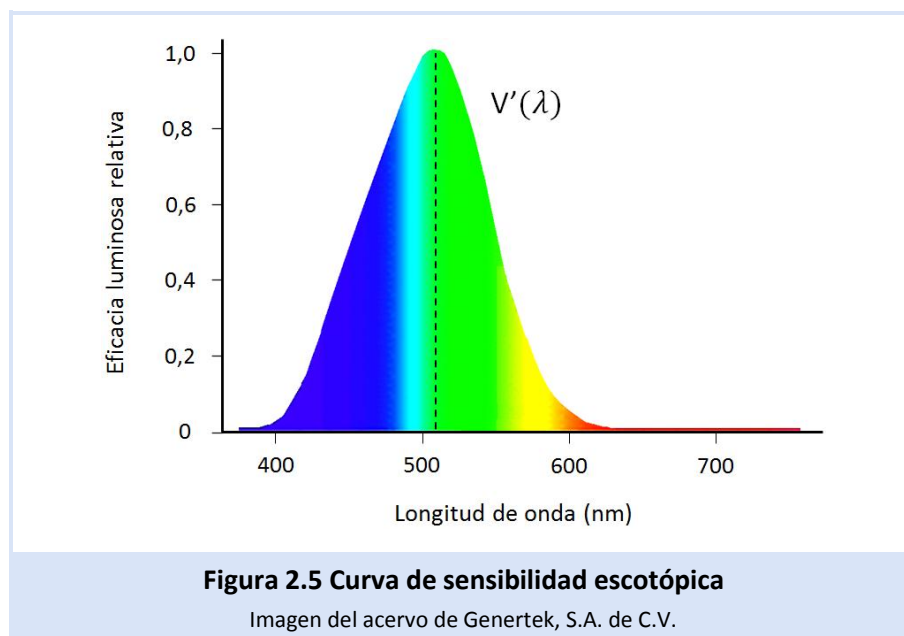
Imágenes adaptadas de Osram, 2009 y Venture 2010

La función fotópica describe la respuesta espectral de los conos, ya que fue obtenida en condiciones experimentales con niveles altos de iluminación, en los que el estímulo se encontraba sobre el eje central de la visión. Aunque los conos presentan sensibilidad a partir de niveles mayores a $0,001 \text{ cd/m}^2$, es casi a partir de 10 cd/m^2 cuando la sensibilidad del ojo humano está determinada predominantemente por los conos; el límite exacto es difícil de obtener ya que depende de muchos factores, incluidos el tamaño y posición del objeto en el campo de visión. En la práctica las aplicaciones que tienen niveles de iluminación mayores a 10 cd/m^2 , son principalmente las relacionadas con la iluminación de interiores.

La ciencia de la iluminación y sus aplicaciones están cimentadas en la función fotópica, por lo que, visto de manera práctica, todos los instrumentos de medición que se usan en iluminación están calibrados de acuerdo a la curva de sensibilidad fotópica, por lo que cada valor de flujo luminoso, intensidad luminosa, luminancia e iluminancia, también está determinado por dicha función, incluidos los niveles de iluminación establecidos en normas y recomendaciones internacionales.

II.1.2 Función escotópica de eficacia luminosa espectral

Veinticinco años después de la aceptación de la función de visibilidad fotópica, se empleó un procedimiento similar para obtener los datos que definieran la función de visibilidad escotópica –la sensibilidad del ojo humano con niveles bajos de iluminación–, siendo aprobados por la CIE en 1951. Esta función se denomina formalmente como función escotópica de eficacia luminosa espectral y se designa como $V'(\lambda)$.



La curva definida por la función escotópica también tiene la forma de una campana de Gauss donde las colas corresponden al violeta y al rojo, sólo que en este caso el pico se encuentra entre los colores azul y verde, a una longitud de onda de 508 nm.

La función escotópica muestra un claro corrimiento hacia los tonos azules en comparación con la función fotópica, resultando que con niveles bajos de iluminación el ojo humano es muy sensible a las fuentes de luz que tienen una distribución espectral con mayor aportación en los tonos azul y verde, mientras que tiene una sensibilidad baja a las fuentes de luz que poseen una distribución espectral con mayor aportación en los tonos amarillo naranja y rojo. De esta manera, contrastantemente, considerando la función escotópica, las fuentes de luz blanca pueden alcanzar mayor eficacia que las fuentes de luz amarilla para una misma potencia dada.

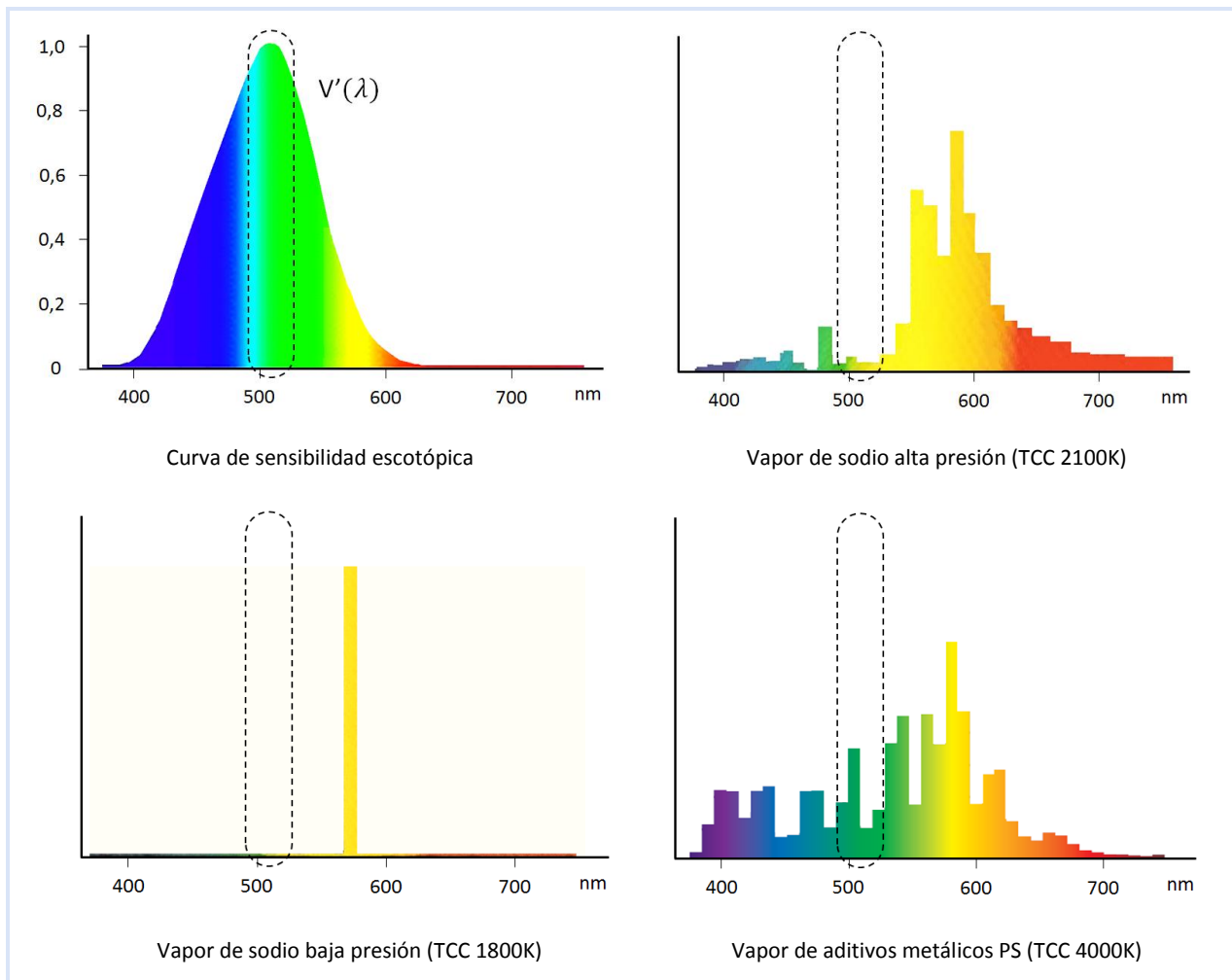


Figura 2.6 Curva de sensibilidad escotópica en comparación con la distribución espectral de VSBP, VSAP y VAM PS

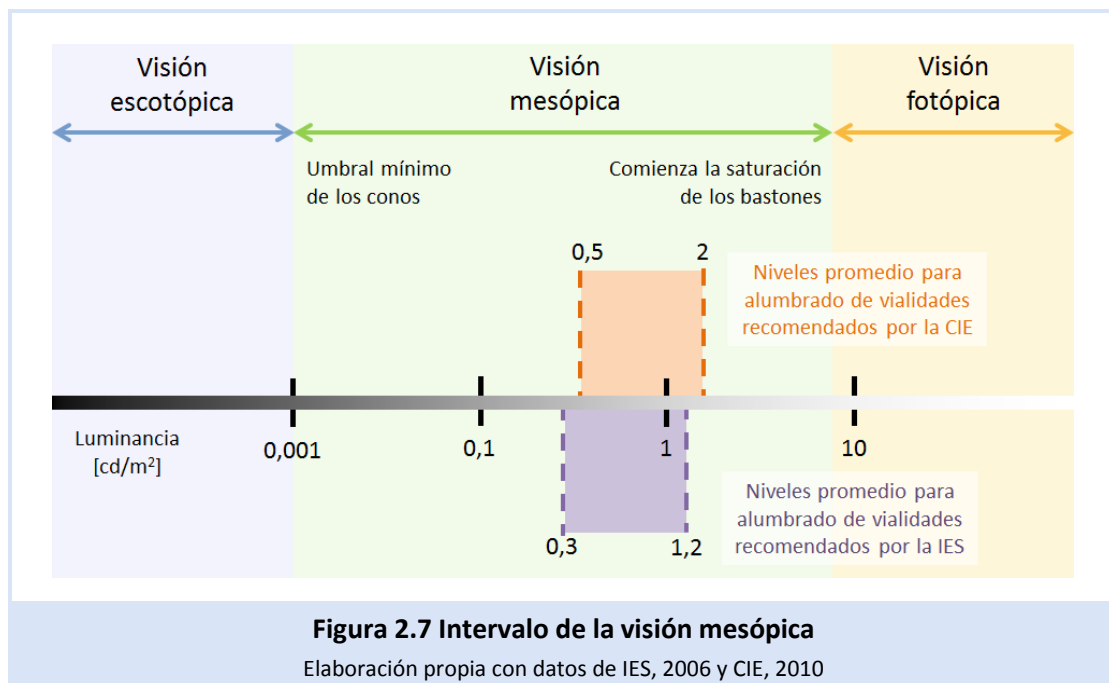
Imágenes adaptadas de Osram, 2009 y Venture 2010

La función escotópica caracteriza la respuesta espectral de los bastones, los cuales son capaces de trabajar con niveles muy bajos de iluminación aunque se comienzan a saturar con niveles de iluminación cercanos a 10 cd/m^2 . Esta función se obtuvo con luminancias menores a $0,001 \text{ cd/m}^2$, que es precisamente el nivel en el que los conos comienzan a tener sensibilidad.

No existe aplicación alguna en la iluminación en la que el ojo humano deba trabajar adaptado a niveles tan bajos, ni siquiera en el alumbrado público; debido a esto, aunque la función escotópica forma parte del sistema de fotometría de la CIE, esta función no es utilizada en la práctica.

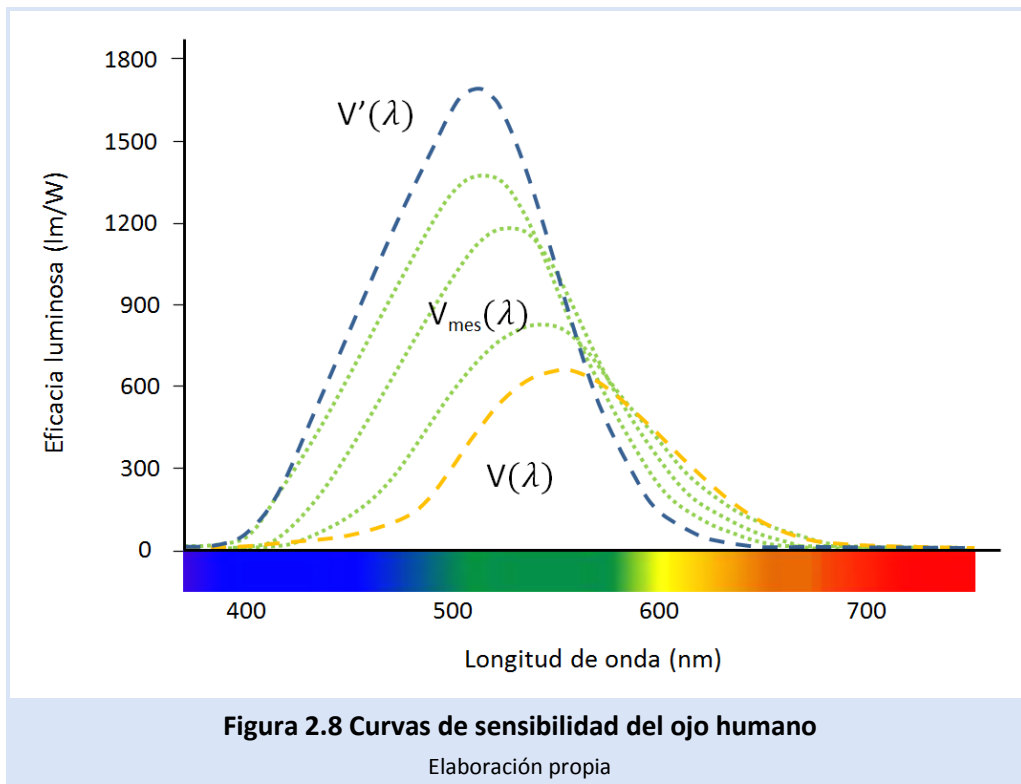
II.2 Sistemas de fotometría mesópica

La aplicación generalizada de la función fotópica en todas las aplicaciones se ha constituido en un paradigma en la práctica de la iluminación. No obstante, entre los intervalos fotópico y el escotópico existe una zona de transición que corresponde a la visión mesópica, que se caracteriza porque participan tanto los conos como los bastones; el intervalo de la visión mesópica no está concretamente definido, aunque se considera entre $0,001 \text{ cd/m}^2$ hasta poco menos de 10 cd/m^2 ; dentro de este rango intermedio, se encuentran los niveles de iluminación recomendados para varias aplicaciones, entre ellas el alumbrado de vialidades y el alumbrado exterior, así como la iluminación de seguridad, de aviación y de marina. Sin embargo, en su momento no fue definida una función de visibilidad mesópica debido a las dificultades experimentales y metodológicas que representaba.



A finales de los ochentas comenzó a cobrar mayor importancia definir un modelo que caracterizará la visión humana en el intervalo mesópico, ya que en varias investigaciones se demostró que se había desestimado la eficacia de las fuentes de luz blanca en aplicaciones con niveles en el rango mesópico; no obstante definir una función mesópica no era tarea sencilla.

Debido a que en el intervalo mesópico tanto los conos como los bastones cambian su nivel de adaptación dependiendo del nivel de iluminación, la sensibilidad del ojo humano a la radiación visible también cambia de acuerdo al nivel de iluminación. Por esta razón, la función de visibilidad mesópica no puede ser definida por una sola curva sino por una familia de curvas que se encuentran entre la curva de sensibilidad escotópica y la curva de sensibilidad fotópica, sin embargo, únicamente se aplica una sola curva de acuerdo al nivel de adaptación de la vista en una situación dada.



Considerando lo anterior, un sistema de fotometría mesópica debe cumplir con ciertas características a fin de poder ser adoptado por la CIE (CIE, 2010):

- **Cumplir con la ley de aditividad de Abney.** La ley de aditividad de Abney es una propiedad con la que cumplen la función la fotópica y la función escotópica que implica que la energía radiante total visualmente percibida por el ojo humano, debe ser igual a la suma de la energía radiante visualmente percibida a cada longitud de onda. En el caso de

un sistema de fotometría mesópica, dado que debe estar conformado por varias curvas en el intervalo mesópico, cada curva debe cumplir con esta ley únicamente en su respectivo nivel de iluminación.

- **Ser congruente con el sistema de fotometría actual de la CIE.** Un sistema de fotometría mesópica debe aproximarse en su límite inferior a la función escotópica y en su límite superior a la función fotópica, de manera que represente un proceso de adaptación continuo del ojo humano a los diferentes niveles de iluminación.

El modelo más simple que puede satisfacer estas premisas, es una combinación lineal de la función fotópica y la función escotópica, que tiene la siguiente forma:

$$V_{mes}(\lambda) = yV(\lambda) + (1 - y)V'(\lambda) \quad (2.1)$$

A partir de un modelo de este tipo, la función mesópica es aditiva por naturaleza, ya que las funciones $V(\lambda)$ y $V'(\lambda)$ son aditivas, no obstante la aditividad aplica para un nivel de adaptación determinado (CIE, 2010).

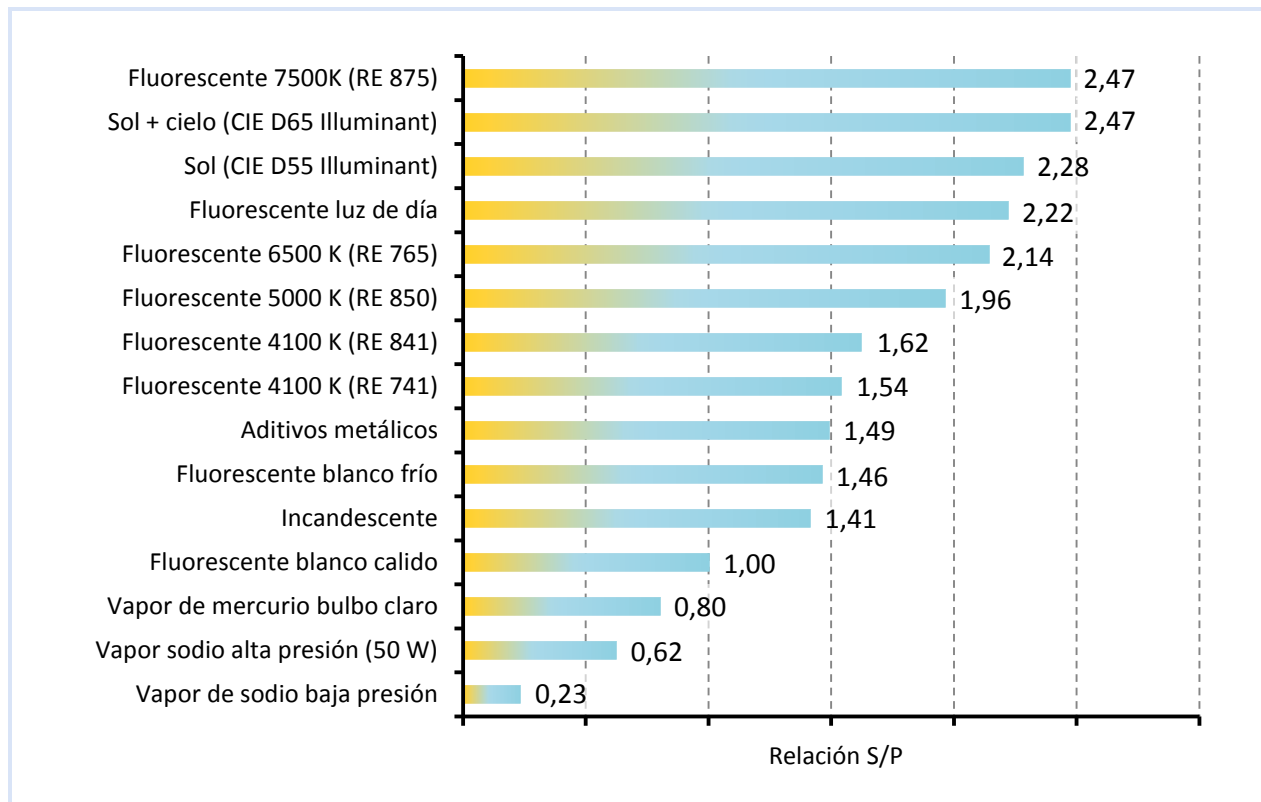
Antes de que la CIE recomendara formalmente un sistema de fotometría mesópica en septiembre de 2010, se propusieron varias alternativas para definir un modelo aplicable al intervalo mesópico, dentro de los que destacan el Sistema de la fotometría unificada (USP) y el Modelo de fotometría mesópica basado en el desempeño visual (MOVE), los cuales se describirán más adelante junto con el sistema recomendado por la CIE.

Es importante destacar que, aunque los sistemas de fotometría tratan de caracterizar la respuesta del ojo humano de manera aceptable, es imposible formular un sistema que logre predecir con exactitud el desempeño visual en todas las condiciones prácticas. La visión humana es un proceso complejo determinado por diversos factores que incluyen el tamaño y ubicación del estímulo en el campo de visión, el nivel de iluminación ambiental, la distribución espectral de la fuente de luz, la tarea visual que se realice, así como las características propias del sujeto; al cambiar cualquiera de estos parámetros, se modifica la eficacia del sistema visual así como la habilidad para realizar una determinada tarea visual.

II.2.1 Relación S/P

La relación S/P se define como la relación del flujo luminoso evaluado mediante la función escotópica, entre el flujo luminoso evaluado mediante la función fotópica. Por extensión, esta relación también es aplicable a otros parámetros como la luminancia y la iluminancia, ya que dependen del flujo luminoso.

La relación S/P de una fuente de luz está determinada por su distribución espectral; las fuentes de luz con una distribución espectral con mayor aportación en los tonos azul y verde, tienen una relación S/P más alta que las fuentes con mayor aportación en los tonos amarillo, naranja y rojo, independientemente del flujo luminoso; visto de manera práctica, las fuentes de luz blanca tienen una relación S/P más alta que las fuentes de luz amarilla. A continuación se incluye una gráfica donde se muestran los valores de relación S/P de algunas fuentes de luz:



Gráfica 2.1 Valores típicos de relación S/P de algunas fuentes de luz

Elaboración propia con datos de Berman, 2010

Como se puede observar, aquellas fuentes con una alta temperatura de color tienen una relación S/P más alta, lo cual se debe a que tienen una distribución espectral con mayor aportación en los tonos azules; adicionalmente, en las fuentes con una misma TCC, las fuentes con mayor IRC también tienen una relación S/P mayor, aunque la diferencia no es tan grande como en el caso de la temperatura de color.

Cabe destacar que los fabricantes no suelen proporcionar el valor de la relación S/P como parte de la especificación de las lámparas; para obtener este valor se requiere de dos sensores fotosensibles, uno calibrado bajo la curva de sensibilidad fotópica y otro calibrado bajo la curva de sensibilidad escotópica. En la práctica, la relación S/P se puede medir mediante un luxómetro

fotópico-escotópico, el cual cuenta con estos dos sensores, no obstante, actualmente este tipo de equipos son mucho más caros que un luxómetro convencional que sólo cuenta con un sensor calibrado bajo la curva fotópica.



La relación S/P constituye un parámetro fundamental para la aplicación de los sistemas de fotometría mesópica; además, es un indicador de que tan eficiente es una fuente de luz dentro del intervalo mesópico, ya que entre mayor sea la relación S/P mayor es el nivel de iluminación mesópico que se puede obtener.

No obstante, debe aclararse que no todas las aplicaciones tienen niveles de iluminación dentro del intervalo mesópico; asimismo, el buen uso de la temperatura de color permite crear ambientes idóneos para cada aplicación y necesidad, por lo tanto, aunque dentro del intervalo mesópico la luz fría sea más eficaz que la luz cálida, su aplicación debe ser selectiva de acuerdo a la aplicación.

II.2.2 Sistema de la fotometría unificada

El Sistema de la fotometría unificada (USP, por las siglas en inglés de Unified System of Photometry) fue propuesto en 2004 por Mark Rea en colaboración con Bullough, Bierman y Freyssinier-Nova, con el objetivo de establecer un sistema de fotometría que caracterizara la respuesta del ojo humano en todos los niveles de iluminación, incluyendo el intervalo mesópico.

El USP es el resultado de la comparación y evaluación de varios modelos mesópicos planteados con anterioridad. Particularmente, el USP toma como base dos modelos formulados

por Y. He en colaboración con otros investigadores, quienes realizaron dos experimentos en los que tomaron como criterio el tiempo de reacción.

El primer experimento consistió en medir los tiempos de reacción de dos sujetos utilizando la visión monocular; se emplearon fuentes de VSAP y VAM con niveles de iluminación entre $0,003 \text{ cd/m}^2$ y 10 cd/m^2 , presentando un objetivo con un tamaño de 2° , que tenía contraste de luminancia pero no de color –condición acromática–, en el eje central de la visión y a 15° del eje central. Para la visión en el eje los tiempos de reacción con los dos tipos de fuentes no presentaron una diferencia significativa, pero para la visión fuera del eje, a partir de $0,6 \text{ cd/m}^2$, los tiempos con VSAP fueron mayores a los de VAM conforme el nivel de iluminación disminuía. Con base en los datos se formuló un modelo que plantea la luminancia mesópica en términos de una combinación lineal de la función fotópica y la función escotópica utilizando un factor de escala denotado como x .

El segundo experimento fue realizado a un solo sujeto midiendo la diferencia entre los tiempos de reacción obtenidos con cada ojo empleando cinco estímulos cuasi-monocromáticos –picos en 436, 470, 510, 546 y 630 nm con ancho de banda de 10 nm– y uno como referencia –pico en 589 nm–, midiendo los resultados con niveles de iluminación de 0,3 Td, 3 Td y 10 Td. El modelo que se obtuvo es similar al del primer experimento, con la diferencia de que la luminancia mesópica se encuentra también en función del tamaño de la pupila, específicamente considerando un diámetro constante de 7 mm, los valores obtenidos con ambos modelos son sustancialmente congruentes (CIE, 2010).

El sistema de la fotometría unificada toma como base estas investigaciones haciendo varias simplificaciones con el objetivo de plantear un sistema práctico y congruente con el sistema de fotometría de la CIE. De esta forma, el USP define la eficacia luminosa en el intervalo mesópico tomando como criterio el tiempo de reacción, a diferencia de la función fotópica y la escotópica que fueron obtenidas a partir de experimentos que se centraron en el brillo; la justificación de esto reside en el hecho de que en las actividades que se realizan con niveles mesópicos, tales como la conducción nocturna de vehículos, es más importante el tiempo de reacción que la percepción del brillo.

El modelo propuesto por el sistema de la fotometría unificada define la función mesópica en el intervalo de $0,001$ a $0,6 \text{ cd/m}^2$, relacionando de forma lineal la función fotópica y la función escotópica mediante un factor X , de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_{mes}(\lambda) = XV(\lambda) + (1 - X)V'(\lambda) \quad \text{para } 0 \leq X \leq 1 \quad (2.2)$$

El coeficiente X está en función del nivel de adaptación del ojo humano y determina la proporción en que la función fotópica y la función escotópica participan para determinar la curva de eficacia mesópica a un nivel dado de luminancia dentro del intervalo mesópico, por lo que para calcular X es necesario conocer el nivel de luminancia mesópico:

$$X = mL_{mes} + \beta \quad (2.3)$$

Donde m y β son coeficientes cuyo valor es: $m = 1/0,599$ y $\beta = -0,001/0,599$. El nivel de luminancia mesópico, L_{mes} , se da en función del nivel de luminancia fotópico, L_p , y el nivel de luminancia escotópico, L_s a partir de la siguiente expresión:

$$L_{mes} = 0,834 L_p - 0,335 L_s - 0,2 + \sqrt{0,696 L_p^2 - 0,333 L_p - 0,56 L_p L_s + 0,113 L_s^2 + 0,537 L_s + 0,04} \quad (2.4)$$

Donde $0,001 \leq L_p \leq 0,6$, que son los límites del intervalo de la función mesópica de acuerdo al USP; para obtener L_s se utiliza la relación S/P:

$$L_s = (S/P) \times L_p \quad (2.5)$$

Es importante notar que el USP no sólo cubre el intervalo mesópico, sino también los intervalos escotópico y fotópico, ya que en su límite inferior converge a la función escotópica, mientras que en su límite superior es igual a la función fotópica.

El documento *ASSSIST recommends... Outdoor lighting: Visual efficacy*, publicado por el Lighting Research Center en Estados Unidos, describe la forma en que se aplica el sistema de la fotometría unificada por medio de una tabla de conversión. A partir de esta tabla se encuentra el valor equivalente de luminancia mesópica –o luminancia unificada–, conociendo la luminancia fotópica y la relación S/P de la fuente de luz. Adicionalmente, el documento incluye un procedimiento que describe tres pasos para la aplicación del USP junto con un ejemplo, los cuales se mencionan a continuación:

Paso 1: Seleccionar el nivel de iluminación adecuado para la aplicación basándose en recomendaciones o normas establecidas. Por ejemplo, en el caso de alumbrado público, de acuerdo a las recomendaciones de la IES indicadas en la Tabla 1.1 del primer capítulo, para una vialidad local en una zona de tráfico peatonal mínimo, cuyo tipo de pavimento es R_1 (10% de reflectancia), la IESNA recomienda una iluminancia mantenida promedio de 3 lx.

Paso 2: Elegir una fuente de luz apropiada para la aplicación y conocer su relación S/P. Por ejemplo, de acuerdo a la tabla 2 incluida en el documento de ASSSIST, considerando una lámpara de VSAP de 400 W, se tiene una relación S/P de 0,66.

Paso 3: Determinar el nivel de iluminación mesópica equivalente. En la tabla con los valores de luminancia mesópica, se busca la intersección de la columna de la luminancia fotópica que corresponda al nivel de iluminación deseado, con el renglón de la relación S/P más cercana a la de la fuente de luz seleccionada.

Dado que el nivel de iluminación deseado es un valor de iluminancia en lx, para obtener el valor de luminancia equivalente en cd/m^2 se utiliza la Ecuación 1.2 que establece la relación entre la luminancia y la iluminancia en función de la reflectancia, obteniendo que una iluminancia de 3 lx equivale a una luminancia de $0,096 \approx 0,1 \text{ cd/m}^2$ con un pavimento tipo R₁. De esta forma, de acuerdo al extracto de la tabla 3 del documento de ASSSIST que se muestra en la Figura 2.10, para una luminancia fotópica de $0,1 \text{ cd/m}^2$ y una relación S/P de 0,65 –valor más cercano a 0,66–, se tiene una luminancia mesópica de $0,0747 \text{ cd/m}^2$.

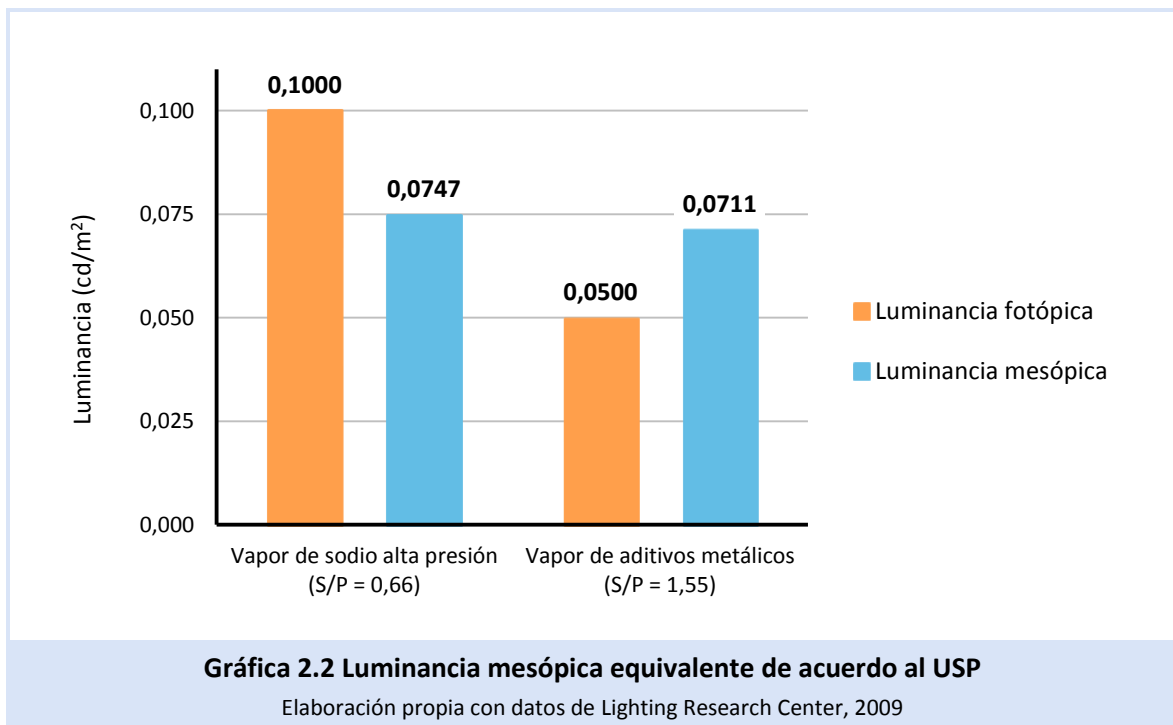
Table 3. Values of unified luminance for different base light levels and S/P ratios.

S/P	Base light level (photopic luminance (cd/m^2))											
	0.001	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12
0.25	0.0003	0.0026	0.0054	0.0084	0.0115	0.0149	0.0185	0.0223	0.0264	0.0308	0.0355	0.0457
0.35	0.0004	0.0036	0.0075	0.0115	0.0158	0.0203	0.0250	0.0300	0.0353	0.0408	0.0467	0.0591
0.45	0.0005	0.0047	0.0095	0.0146	0.0199	0.0255	0.0313	0.0373	0.0436	0.0501	0.0568	0.0711
0.55	0.0006	0.0057	0.0115	0.0176	0.0239	0.0304	0.0371	0.0441	0.0512	0.0586	0.0661	0.0818
0.65	0.0007	0.0067	0.0135	0.0205	0.0278	0.0351	0.0427	0.0505	0.0584	0.0665	0.0747	0.0917
0.75	0.0008	0.0076	0.0154	0.0234	0.0315	0.0397	0.0480	0.0565	0.0651	0.0739	0.0827	0.1007
0.85	0.0009	0.0086	0.0174	0.0262	0.0351	0.0441	0.0532	0.0623	0.0716	0.0809	0.0902	0.1092
0.95	0.0010	0.0096	0.0192	0.0289	0.0386	0.0483	0.0581	0.0678	0.0776	0.0874	0.0973	0.1170
1.05	0.0011	0.0106	0.0211	0.0316	0.0420	0.0524	0.0628	0.0731	0.0834	0.0937	0.1040	0.1244
1.15	0.0012	0.0115	0.0229	0.0342	0.0453	0.0564	0.0674	0.0782	0.0890	0.0997	0.1104	0.1315
1.25	0.0013	0.0125	0.0247	0.0367	0.0486	0.0602	0.0717	0.0831	0.0943	0.1054	0.1164	0.1380
1.35	0.0014	0.0134	0.0265	0.0392	0.0517	0.0640	0.0760	0.0878	0.0994	0.1109	0.1222	0.1444
1.45	0.0015	0.0144	0.0282	0.0417	0.0548	0.0676	0.0801	0.0923	0.1043	0.1161	0.1277	0.1504
1.55	0.0016	0.0153	0.0300	0.0441	0.0578	0.0711	0.0841	0.0967	0.1091	0.1212	0.1330	0.1561
1.65	0.0017	0.0162	0.0317	0.0465	0.0607	0.0745	0.0879	0.1009	0.1136	0.1260	0.1381	0.1616
1.75	0.0018	0.0171	0.0333	0.0488	0.0636	0.0779	0.0917	0.1050	0.1180	0.1307	0.1430	0.1669
1.85	0.0019	0.0180	0.0350	0.0511	0.0664	0.0812	0.0953	0.1090	0.1223	0.1352	0.1478	0.1720
1.95	0.0020	0.0189	0.0366	0.0533	0.0692	0.0843	0.0989	0.1129	0.1265	0.1396	0.1524	0.1769
2.05	0.0021	0.0198	0.0383	0.0555	0.0719	0.0875	0.1024	0.1167	0.1305	0.1439	0.1568	0.1817

Figura 2.10 Extracto de la tabla de conversión a luminancia mesópica de acuerdo al USP
 Tabla reproducida de Lighting Research Center, 2009

El documento de ASSSIST puntualiza que se pueden encontrar otros casos para los que se tiene una luminancia mesópica equivalente a la que se obtuvo con VSAP. En este sentido, menciona un ejemplo con una lámpara de VAM de 400 W, que de acuerdo a la tabla 2 del documento de ASSSIST tiene una relación S/P de 1,57; encontrando que para una luminancia fotópica de $0,05 \text{ cd/m}^2$ y una relación S/P de 1,55 –valor más próximo a 1,57–, se obtiene una luminancia mesópica de $0,0711 \text{ cd/m}^2$, valor similar a $0,0747 \text{ cd/m}^2$; una luminancia fotópica de $0,05 \text{ cd/m}^2$ equivale a una iluminancia fotópica de $1,57 \text{ lx}$ con un pavimento tipo R_1 .

De acuerdo a lo anterior, un sistema de VSAP que proporciona una iluminancia fotópica de 3 lx , aporta una luminancia mesópica equivalente a un sistema de VAM que proporciona una iluminancia fotópica de $1,57 \text{ lx}$, por lo que, teóricamente se requeriría un menor número de luminarios de VAM que de VSAP para proporcionar el mismo nivel de luminancia mesópica, reduciendo así la inversión y la potencia instalada que se requeriría.



El sistema de la fotometría unificada y la metodología descrita para su aplicación, proporcionan una forma de evaluar los sistemas de iluminación en aplicaciones con niveles recomendados o normalizados dentro del intervalo mesópico. Además, el USP muestra que la aplicación de las fuentes de luz blanca, en comparación con las fuentes de luz amarilla, las cuales tienen menor relación S/P, permite reducir la potencia necesaria en los sistemas de alumbrado público al considerar niveles de iluminación mesópicos equivalentes.

II.2.3 Modelo de fotometría mesópica basado en el desempeño visual

El modelo de fotometría mesópica basado en el desempeño visual fue propuesto por un consorcio de instituciones europeas llamado MOVE (por las siglas en inglés de Mesopic Optimization of Visual Efficacy), con el objetivo de definir las funciones mesópicas de eficacia luminosa en el intervalo de 0,01 a 10 cd/m², así como establecer las prácticas de trabajo aplicables para que fueran aceptadas e implementadas en la Unión Europea y eventualmente a nivel internacional.

Este proyecto fue realizado entre los años 2002 y 2004 con financiamiento de la Unión Europea; reunió a un equipo multidisciplinario conformado por ingenieros y científicos de Alemania, Finlandia, Hungría, Países Bajos y Reino Unido, que fue coordinado por Liisa Halonen y Marjukka Eloholma de la Universidad Tecnológica de Helsinki.

De manera similar al USP, el MOVE enfatiza las tareas visuales que se realizan en la conducción nocturna de vehículos, que es una de las actividades más relevantes con niveles de iluminación dentro del intervalo mesópico, con el fin de tratar de describir de manera más realista el desempeño del ojo humano en estas condiciones. Para ello se realizaron varios experimentos centrándose en las que se consideraron las tareas visuales más importantes en dicha aplicación, las cuales se identifican por medio de las siguientes preguntas:

- **¿Puede ser visto?** Corresponde al umbral de detección, el cual está relacionado con el contraste mínimo de luminancia entre un objeto y su entorno, a fin de poder ser detectado visualmente.
- **¿Qué tan rápido?** Se refiere a la velocidad de reacción, que está en función del tiempo entre el que se presenta un estímulo visual y el momento en que se tiene una respuesta a dicho estímulo.
- **¿Qué es?** Se relaciona con el umbral de reconocimiento, es decir, la identificación de un objeto y la percepción de sus detalles.

Los experimentos fueron desarrollados en los siguientes centros de investigación de los países que participaron en el proyecto: Helsinki University of Technology (HUT), Finlandia; Human Factors Research Institute, Organization for Applied Research (TNO), Países Bajos; Applied Vision Research Center, City University (CU), Reino Unido; Department of Image Processing and Neurocomputing, University of Veszprem (UV), Hungría; National Physical Laboratory (NPL), Reino Unido; y Department of Lighting Technology, Darmstadt University of Technology (TUD), Alemania.

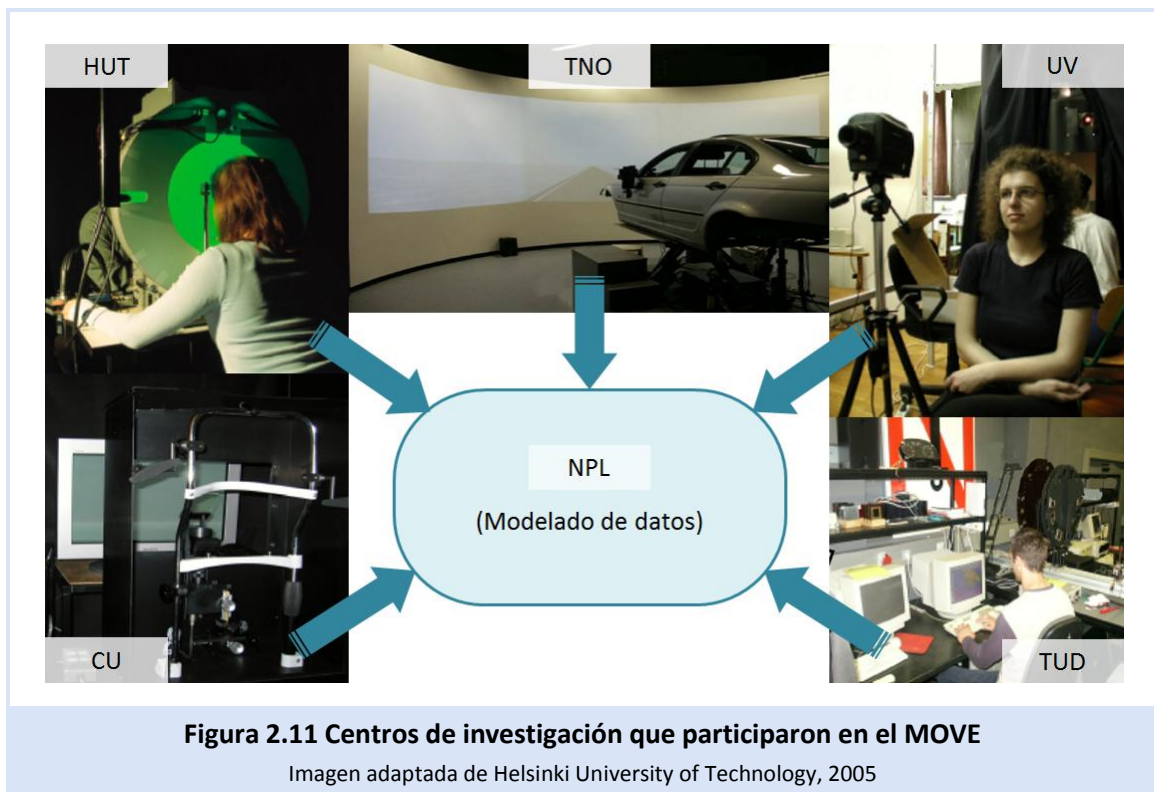


Figura 2.11 Centros de investigación que participaron en el MOVE

Imagen adaptada de Helsinki University of Technology, 2005

Para los experimentos se utilizaron objetivos cuasi-monocromáticos (ancho de banda de 10 nm), de banda estrecha (15 a 40 nm) y de banda ancha; en algunos casos, el objetivo y el fondo tenían las mismas características espectrales (condiciones acromáticas) aunque en la mayoría tenían características diferentes (condiciones cromáticas). Todos fueron realizados bajo ciertas condiciones en común, de manera que, aunque se usaran técnicas y equipos diferentes, se pudieran comparar y usar los resultados para desarrollar el modelo de fotometría mesópica requerido. Para la luminancia de fondo se establecieron los niveles de 0,01, 0,1, 1 y 10 cd/m^2 , aunque adicionalmente en algunos experimentos se utilizaron valores intermedios de 0,03, 0,3 y 3 cd/m^2 ; los ángulos de visión en que se presentaba el objetivo fueron 0° y 10° , los cuales corresponde a la visión central y la visión periférica respectivamente; otras condiciones fueron referentes al tamaño y tiempo de presentación del estímulo u objetivo. Para tratar de generar un modelo confiable, participaron en total 109 sujetos de forma repartida en los experimentos que se mencionan a continuación.

Para caracterizar el umbral de detección, los experimentos realizados consistieron en mantener constante el nivel de luminancia del fondo mientras se variaba el nivel de luminancia del estímulo hasta que el observador podía detectarlo. Los modelos experimentales utilizados fueron los siguientes: perímetro de Goldman modificado (HUT), pantalla homogénea de gran tamaño (TUD) y pantalla con proyector controlado por computadora (UV).



La velocidad de reacción se caracterizó mediante experimentos cuyo objetivo era cuantificar el tiempo de reacción de los observadores cuando se les presentaban estímulos de diferentes características cromáticas por intervalos de 500 y 3000 ms. Los modelos utilizados fueron los siguientes: hemisferio uniforme de gran tamaño (HUT), monitor CRT controlado por computadora (CU), simulador de manejo (TNO) y pantalla homogénea de gran tamaño (TUD).



Finalmente para caracterizar el umbral de reconocimiento se realizó un solo experimento en el que observador tenía que reconocer la dirección en la que se encontraba la apertura de un anillo de Landolt, el cual se mostraba en una pantalla con proyector controlado por computadora (UV).



En un principio, para cada una de las tres tareas visuales se desarrolló un modelo diferente, sin embargo se encontró que los datos obtenidos en cada experimento podían ajustarse satisfactoriamente mediante un modelo único a partir de una regresión logarítmica. Este modelo está dado por una combinación lineal de la función fotópica y la función escotópica que caracteriza la sensibilidad mesópica en el intervalo de $0,01 \text{ cd/m}^2$ a 10 cd/m^2 , de acuerdo a la siguiente expresión:

$$M(x)V_{mes}(\lambda) = xV(\lambda) + (1 - x)V'(\lambda) \quad \text{para } 0 \leq x \leq 1 \quad (2.6)$$

Donde la función $M(x)$ es una función normalizadora que permite que la función $V_{mes}(\lambda)$ tome el valor máximo de 1, mientras que x es un coeficiente que está en función del nivel de adaptación, que a su vez depende del nivel de luminancia fotópica y escotópica:

$$x_{n+1} = a + b \log_{10} \left[\frac{1}{M(x_n)} \left(x_n \frac{L_p}{K_p} + (1 - x_n) \frac{L_s}{K_s} \right) \right] \quad \text{para } 0 \leq x_{n+1} \leq 1 \quad (2.7)$$

Donde a y b son coeficientes cuyo valor es: $a = 1,49$ y $b = 0,282$, L_p es la luminancia fotópica, L_s es la luminancia escotópica, K_p es la eficacia luminosa fotópica máxima ($K_p = 683 \text{ lm/W}$) y K_s es la eficacia luminosa escotópica máxima ($K_s = 1699 \text{ lm/W}$); la función $M(x)$ puede aproximarse de la siguiente forma:

$$M(x) = \max[x(V(\lambda) + (1 - x)V'(\lambda))] \approx 1 - 0,65x + 0,65x^2 \quad (2.8)$$

Finalmente, el nivel de luminancia mesópico, L_{mes} , está dado en función del nivel de luminancia fotópico, L_p , el nivel de luminancia escotópico, L_s , y del valor del parámetro x :

$$L_{mes} = \frac{xL_p + (1 - x)L_sV'(\lambda_0)}{x + (1 - x)V'(\lambda_0)} \quad (2.9)$$

Donde $V'(\lambda_0)$ es el valor de la función escotópica para $\lambda_0 = 555$ nm, equivalente a 683/1699. Esta expresión aplica para $0,01 \leq L_p \leq 10$, que son los límites del intervalo para el cual se define la función mesópica de acuerdo a este modelo.

De manera similar al USP, el modelo de fotometría mesópica basado en el desempeño visual converge a la función escotópica en su límite inferior y a la función fotópica en su límite superior.

Es importante aclarar que tanto el USP como el MOVE se formularon considerando la visión fuera del eje con objetos de tamaños mayores o iguales a 2° , ya que tomando en cuenta la visión central –o sobre el eje– con objetos de menor tamaño, diversas investigaciones demuestran que la función fotópica describe el desempeño visual de manera aceptable aún con niveles de iluminación mesópicos. No obstante, en el alumbrado de vialidades predomina la visión periférica o fuera del eje (CIE, 2010).

La diferencia entre los niveles de luminancia mesópica obtenidos a partir del USP y el MOVE es reducida para los niveles de iluminación y fuentes de luz comúnmente empleados en el alumbrado público. No obstante, el sistema del MOVE y el USP pueden considerarse como dos extremos, tal como se muestra en la siguiente tabla que resume las diferencias entre ambos sistemas.

Tabla 2.1 Principales diferencias entre el USP y el MOVE

Característica	USP	MOVE
Tareas visuales consideradas	Tiempo de reacción	Detección, tiempo de reacción y reconocimiento
Condiciones espectrales entre el fondo y el estímulo	Condiciones acromáticas	Principalmente condiciones cromáticas
Número de observadores totales en los experimentos	3	109
Intervalo mesópico definido	0,001 - 0,6 cd/m ²	0,01 a 10 cd/m ²

A pesar de estas diferencias, ambos sistemas permiten concluir que la aplicación de las fuentes de luz blanca, en comparación con las fuentes de luz amarilla, permite reducir la potencia necesaria en los sistemas de alumbrado público al considerar niveles de iluminación mesópicos equivalentes.

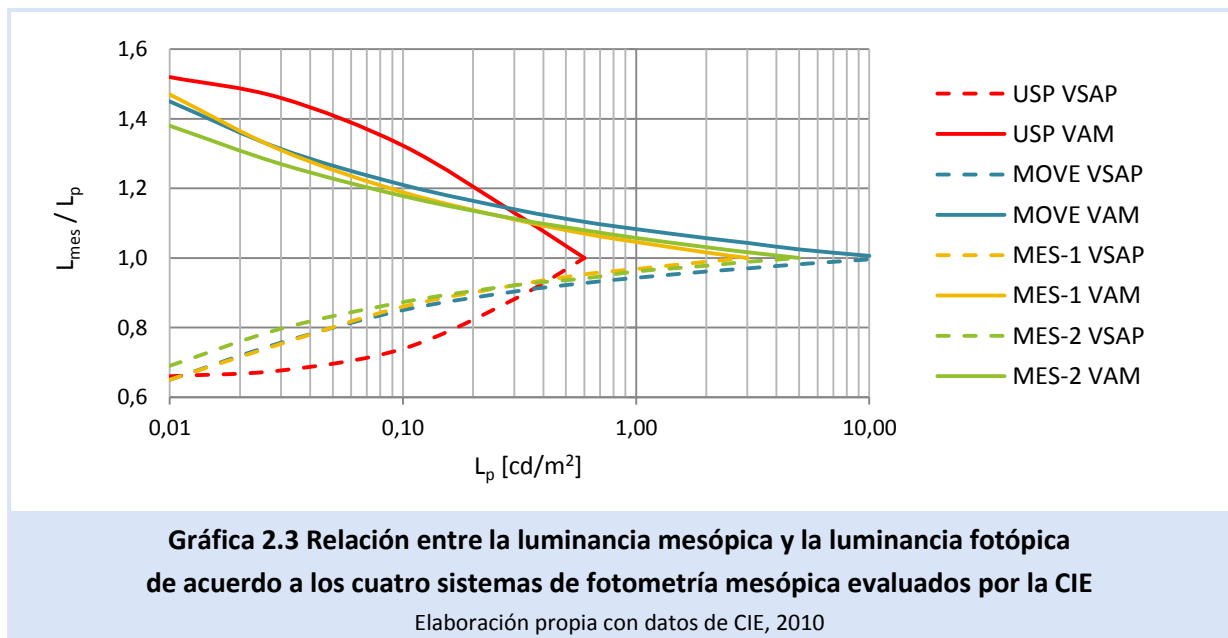
II.2.4 Sistema de fotometría mesópica de la Comisión Internacional de Iluminación

En septiembre de 2010, la Comisión Internacional de Iluminación publicó su reporte técnico CIE 191:2010 *Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance*, donde se resume el trabajo del comité TC1-58 de la CIE, cuyo objetivo principal era proponer un modelo de fotometría mesópica basado en el desempeño visual.

Este documento hace un análisis y evaluación de cuatro sistemas de fotometría mesópica, incluidos el USP, el MOVE y dos “sistemas intermedios”, que introduce debido a las diferencias entre los dos primeros, definiéndolos a partir de las siguientes consideraciones prácticas:

- Debían aproximarse a la función escotópica en su límite inferior y a la función fotópica en su límite superior, de manera similar al USP y al MOVE.
- Debían estar definidos entre los intervalos del USP y el MOVE. El sistema intermedio 1 denotado como MES-1 fue definido en el rango de 0,01 a 3 cd/m^2 , mientras que el sistema intermedio 2 denotado como MES-2 fue definido entre 0,05 y 5 cd/m^2 .
- Debían utilizar una relación logarítmica entre la luminancia mesópica y el coeficiente de adaptación, debido a que se observó que este tipo de relación se ajustaba mejor a los resultados obtenidos en los experimentos.

La siguiente gráfica muestra el comportamiento de la relación entre la luminancia mesópica (L_{mes}) y la luminancia fotópica (L_p) con cada uno de los sistemas, considerando dos fuentes de luz, VSAP con una relación S/P de 0,65 y VAM con una relación S/P de 1,55.



La evaluación para definir cuál sería el sistema de fotometría mesópica recomendado por la CIE, se fundamentó en una serie de pruebas que consistieron en medir la exactitud de los sistemas para predecir los resultados de varios experimentos realizados con anterioridad, en los que se había evaluado el desempeño visual con niveles de iluminación mesópicos en una o hasta en tres de las tareas visuales consideradas por el MOVE. Particularmente, para poder probar y comparar los cuatro sistemas se emplearon dos procedimientos:

Calculo del contraste mesópico para un desempeño visual equivalente. Se basó en la premisa de que una función de sensibilidad espectral describe correctamente el desempeño visual, si el contraste requerido para lograr un cierto desempeño visual es el mismo independientemente de las características cromáticas del objetivo, dadas las mismas características del fondo, tamaño y posición del objetivo. De acuerdo a este procedimiento, el mejor sistema es aquel que tiene la menor variación en el contraste mesópico requerido para alcanzar un mismo desempeño visual considerando objetivos de diferente color (Goodman et. al, 2007 cit. por CIE, 2010). Este procedimiento fue utilizado para los datos experimentales que tenían condiciones cromáticas, de los cuales se resumen sus características en la siguiente tabla:

Tabla 2.2 Características generales de los experimentos con condiciones cromáticas utilizados para evaluar los cuatro sistemas de fotometría mesópica que analizó la CIE

	Raphael y Leibenger, 2007	Vas y Bodrogi, 2007	Orreveteläinen, 2005
Tarea visual evaluada	Detección	Detección	Tiempo de reacción
Luminancia del fondo	0,01 cd/m ² ; 0,07 cd/m ² ; 0,7 cd/m ² ; 8 cd/m ²	0,5 cd/m ²	0,1 cd/m ² ; 0,3 cd/m ² ; 1 cd/m ² ; 3 cd/m ² ; 10 cd/m ²
Espectro de la luz del fondo	Gris, S/P ≈ 2,8	Gris, S/P ≈ 2,05	Gris, S/P ≈ 1,86
Espectro del objetivo	Azul, verde, gris y rojo	410 nm a 680 nm con pasos de 10 nm	Azul, cian, verde, ambar y rojo
Posición del objetivo	2°, 6°, 10° y 14°	20°	10°
Tamaño del objetivo	0,7°	2°	0,29°
Número de observadores	40 (2 luminancias c/u)	1 (4 repeticiones)	5

En las pruebas realizadas con este procedimiento se observó que el MOVE predecía mejor los resultados en una mayor cantidad de casos; en este sentido, las diferencias entre los sistemas intermedios y el MOVE fueron reducidas en comparación con el USP; específicamente el MES-2 mostró mejores resultados, ya que las desviaciones estándar fueron en promedio menores que con los otros sistemas. En las siguientes figuras se observan algunas gráficas derivadas de este procedimiento:

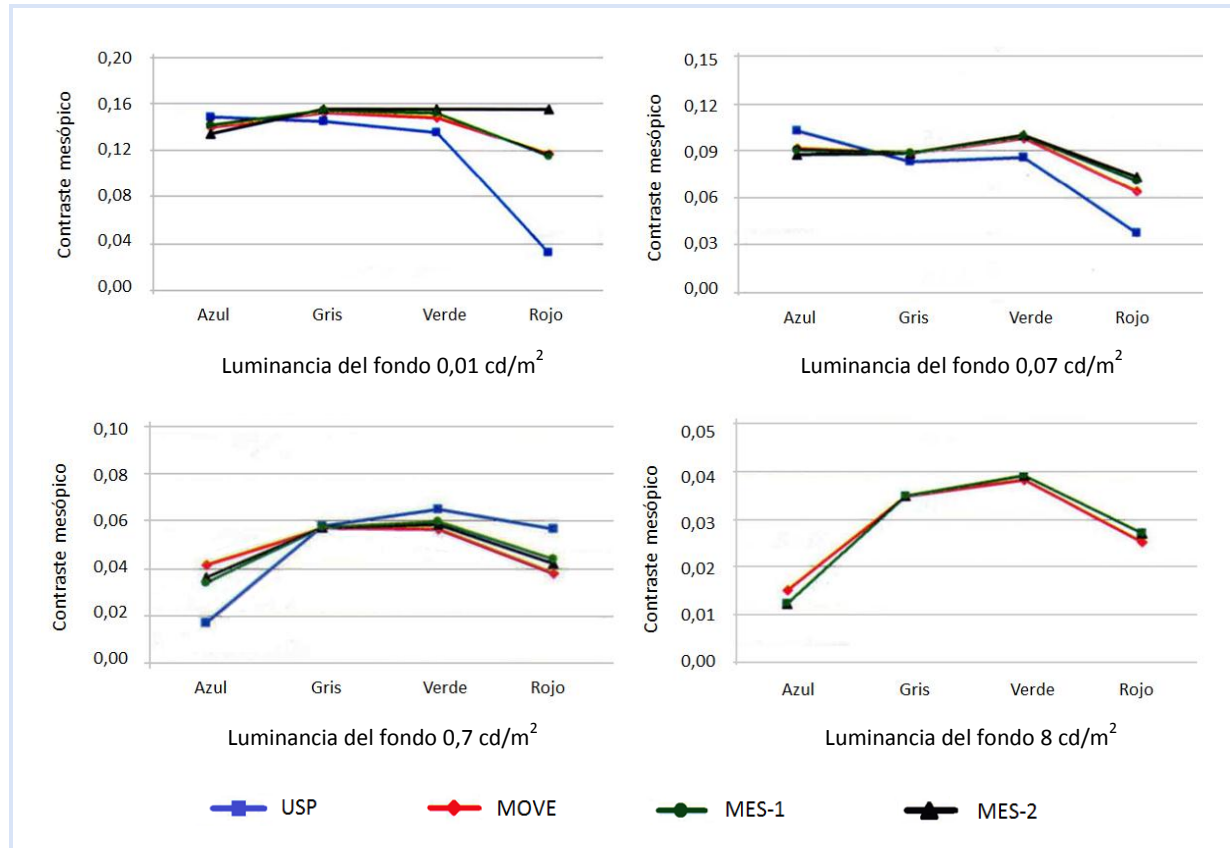


Figura 2.15 Contrastes mesópicos en función del color del objetivo para los datos experimentales de Raphael y Leibenger, 2007 (posición a 10°)

Gráficas adaptadas de CIE, 2010

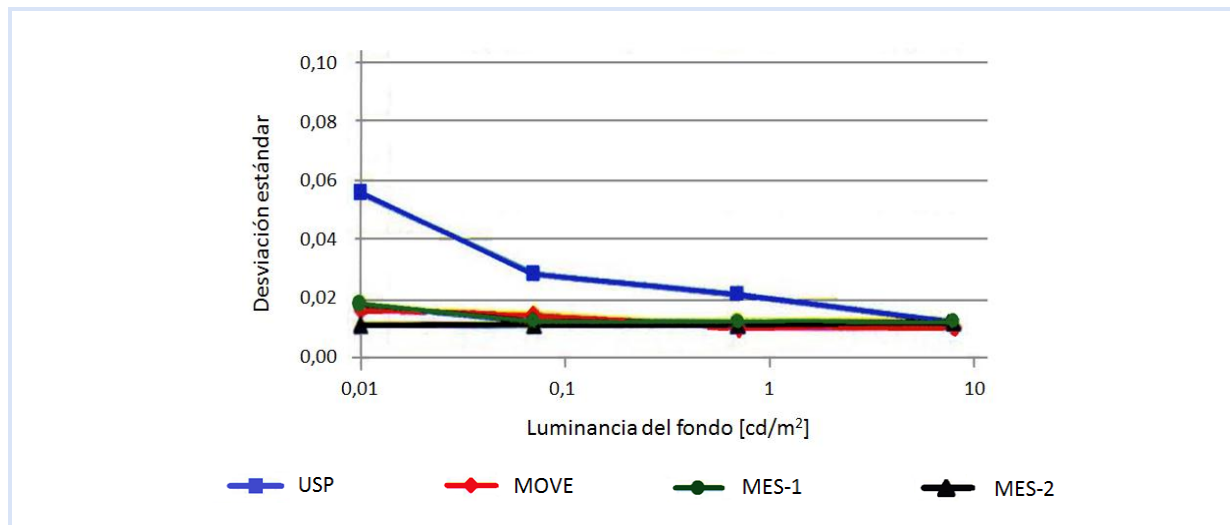


Figura 2.16 Desviaciones estándar de los contrastes mesópicos obtenidos para los datos experimentales de Raphael y Leibenger, 2007 (posición a 10°)

Imagen adaptada de CIE, 2010

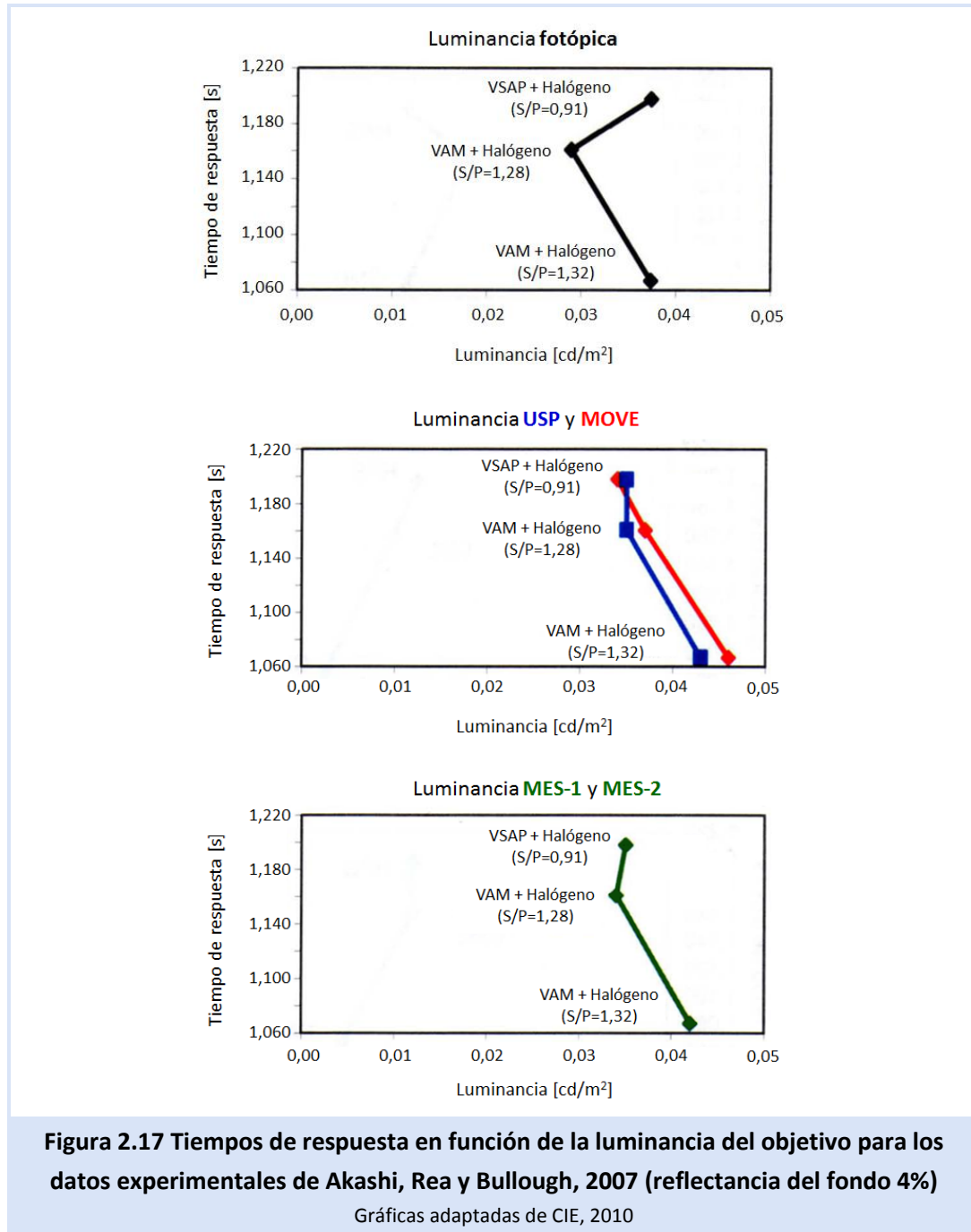
Análisis de tendencias. Consistió en comparar los sistemas en términos de la luminancia mesópica que predicen. De acuerdo a este procedimiento, un buen sistema de fotometría mesópica debe mostrar transitividad entre el desempeño visual y la luminancia mesópica del fondo, es decir, un mejor desempeño visual debe estar asociado a una mayor luminancia mesópica. Este procedimiento se utilizó para los datos experimentales que tenían condiciones acromáticas, de los cuales se resumen sus características en la siguiente tabla:

Tabla 2.3 Características generales de los experimentos con condiciones acromáticas utilizados para evaluar los cuatros sistemas de fotometría mesópica que analizó la CIE

	Akashi, Rea y Bullough 2007	Viikari, Chen, Eloholma y Halonen, 2006	Viikari, Chen, Eloholma y Halonen, 2006
Tarea visual evaluada	Tiempo de respuesta	Tiempo de reacción	Umbral de contraste
Luminancia del fondo	Reflectancias asumidas de 31%, 22%, 13% y 4%	0,1 cd/m ² ; 1 cd/m ²	0,1 cd/m ² ; 1 cd/m ² ;
Espectro de la luz del fondo	VSAP + Halógeno, S/P = 0,91 VAM + Halógeno, S/P = 1,28 VAM + Halógeno, S/P = 1,32	LEDs azul, verde, ambar y rojo	LEDs azul, verde y ambar
Espectro del objetivo	El mismo que el fondo	El mismo que el fondo	El mismo que el fondo
Posición del objetivo	8,3°	10°	10°
Tamaño del objetivo	---	2°	2°
Número de observadores	13	5	5

En las pruebas realizadas por medio del análisis de tendencias, se observó que, considerando niveles de iluminación mesópicos, los cuatro sistemas propuestos describen mejor la relación entre el desempeño visual y el nivel de luminancia de lo que lo hace el sistema de fotometría fotópica. Para luminancias menores a 0,6 cd/m², el USP tuvo mejores resultados, aunque el MOVE mostró un desempeño similar; para luminancias mayores, el USP tuvo malos resultados a diferencia del MOVE y los sistemas intermedios, demostrando que el límite superior que define el intervalo de aplicación de la visión mesópica en el USP no es el adecuado. En la siguiente página se muestran algunas gráficas derivadas de este procedimiento.

Las conclusiones que se obtuvieron a partir de ambos procedimientos son un reflejo de la forma en que fueron formulados cada uno de los sistemas. El USP se basó en experimentos con condiciones acromáticas y define un límite superior de 0,6 cd/m² para la visión mesópica; por otro lado, el MOVE se formuló principalmente a partir de experimentos con condiciones cromáticas considerando un límite superior de 10 cd/m², mientras que los sistemas intermedios consideran un modelo similar al MOVE pero con los límites ajustados de manera conveniente.



Los resultados de estas pruebas fueron decisivos en la selección de un sistema de fotometría mesópica basado en el desempeño visual, ya que el sistema seleccionado debía mostrar una relación significativa entre el desempeño visual y los niveles de iluminación mesópicos. Con base en lo anterior, la CIE decidió que el sistema recomendado fuera uno de los sistemas intermedios, siendo seleccionado el MES-2 debido a que tuvo mejores resultados que el MES-1.

De esta forma, el MES-2 es el sistema recomendado por la Comisión Internacional de Iluminación para establecerse como sistema de fotometría mesópica basado en el desempeño visual. A continuación se describe el modelo de dicho sistema.

Como se mencionó anteriormente, el MES-2 fue definido en el rango de 0,005 cd/m² a 5 cd/m²; como en los otros modelos, la función mesópica de eficacia luminosa espectral, $V_{mes}(\lambda)$, es descrita como una combinación lineal de la función fotópica, $V(\lambda)$, y la función escotópica, $V'(\lambda)$, estableciendo una transición gradual entre ambas funciones que depende del nivel de adaptación visual. Este sistema tiene la siguiente forma:

$$M(m)V_{mes}(\lambda) = mV(\lambda) + (1 - m)V'(\lambda) \quad \text{para } 0 \leq m \leq 1 \quad (2.10)$$

De manera similar al modelo del MOVE, la función $M(m)$ es una función normalizadora que permite que la función $V_{mes}(\lambda)$ tome el valor máximo de 1; m es un coeficiente que depende del nivel de adaptación visual, que a su vez depende del nivel de luminancia y de la distribución espectral de la fuente de luz.

La luminancia mesópica y el coeficiente m para un nivel dado de luminancia fotópica se calculan por medio de las siguientes expresiones:

$$L_{mes,n} = \frac{m_{(n-1)}L_p + (1 - m_{(n-1)})L_s V'(\lambda_0)}{m_{(n-1)} + (1 - m_{(n-1)})V'(\lambda_0)} \quad (2.11)$$

$$m_n = a + b \log_{10}(L_{mes,n}) \quad \text{para } 0 \leq m \leq 1 \quad (2.12)$$

Donde L_p es la luminancia fotópica, L_s es la luminancia escotópica, $V'(\lambda_0)$ es el valor de la función escotópica para $\lambda_0 = 555$ nm equivalente a 683/1699, mientras que a y b son coeficientes cuyo valor es: $a = 0,767$ y $b = 0,334$. De esta forma, la luminancia mesópica se obtiene mediante un proceso iterativo, que comienza con $m_0 = 0,5$, hasta que los valores de m_n y $L_{mes,n}$ deja de variar considerablemente.

De acuerdo a lo mencionado en el reporte técnico CIE 191:2010, el sistema recomendado puede ser implementado fácilmente en la práctica junto con las funciones fotópica y escotópica, considerando que para una situación dada, sólo una de las tres funciones puede ser aplicada.

El sistema de fotometría mesópica basado en el desempeño visual recomendado por la CIE es de especial interés en aplicaciones como el alumbrado de vialidades y exteriores, ya que los niveles recomendados para estas aplicaciones están dentro del intervalo de 0,05 a 5 cd/m². Dentro de este intervalo, el sistema de fotometría mesópica de la CIE permite calcular la

luminancia mesópica, de tal manera que el nivel de iluminación obtenido describe de manera más precisa el desempeño visual que se obtiene en tales condiciones.

En la siguiente tabla se muestran las diferencias porcentuales entre la luminancia fotópica y la luminancia mesópica que se obtiene a partir del sistema de fotometría mesópica de la CIE:

Tabla 2.4 Diferencia porcentual entre la luminancia fotópica y la luminancia mesópica obtenida a partir del sistema de fotometría mesópica recomendado por la CIE

Relación S/P	Luminancia fotópica [cd/m ²]									
	0,01	0,03	0,1	0,3	0,5	1	1,5	2	3	5
0,25	-75%	-52%	-29%	-18%	-14%	-9%	-6%	-5%	-2%	0%
0,45	-55%	-34%	-21%	-13%	-10%	-6%	-4%	-3%	-2%	0%
0,65	-31%	-20%	-13%	-8%	-6%	-4%	-3%	-2%	-1%	0%
0,85	-12%	-8%	-5%	-3%	-3%	-2%	-1%	-1%	0%	0%
1,05	4%	3%	2%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%
1,25	18%	13%	8%	5%	4%	3%	2%	1%	1%	0%
1,45	32%	22%	15%	9%	7%	5%	3%	3%	1%	0%
1,65	45%	32%	21%	13%	10%	7%	5%	4%	2%	0%
1,85	57%	40%	27%	17%	13%	9%	6%	5%	3%	0%
2,05	69%	49%	32%	21%	16%	11%	8%	6%	3%	0%
2,25	80%	57%	38%	24%	19%	12%	9%	7%	4%	0%
2,45	91%	65%	43%	28%	22%	14%	10%	8%	4%	0%
2,65	101%	73%	49%	31%	24%	16%	12%	9%	5%	0%

Niveles de alumbrado de vialidades recomendados por la CIE

Niveles de alumbrado de vialidades recomendados por la IES

La importancia del reporte técnico CIE 191:2010, radica en el hecho de que es un documento publicado por un organismo internacional reconocido y dedicado específicamente a establecer estándares y recomendaciones internacionales en iluminación; particularmente para que un sistema de fotometría sea adoptada a nivel internacional, debe ser previamente aprobado por la CIE. Actualmente se están realizando los trabajos correspondientes para que el sistema propuesto sea establecido como un estándar internacional (Halonen, 2012).

Cabe mencionar que este sistema no establece una relación satisfactoria para la evaluación del brillo percibido en los niveles de iluminación mesópicos, no obstante tampoco lo hace la función fotópica, por lo que el comité TC1-37 de la CIE se encuentra evaluando la posibilidad e implicaciones de establecer un sistema de fotometría suplementario que pueda utilizarse en aplicaciones en las que el brillo percibido sea de importancia considerable.



III. Justificación de la actualización de la NOM-013-ENER-2004

La NOM-013-ENER-2004 *Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Vialidades y Áreas Exteriores Públicas*, establece niveles de eficiencia energética con los que deben cumplir las nuevas instalaciones de alumbrado público, con el propósito de que se diseñen o construyan bajo un criterio de uso eficiente de la energía sin menoscabo de los requerimientos visuales.

En este sentido, con la presente propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 se tiene como objetivo promover un aumento significativo en la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de vialidades, lo cual se traduciría en diversos beneficios, principalmente los referentes al ahorro de energía, conservación de los recursos naturales y medio ambiente, así como la implementación de proyectos que favorezcan la reactivación económica y la liberación de recursos financieros del país. De manera general, la propuesta de actualización está cimentada bajo los siguientes argumentos centrales:

- a) El surgimiento de un nuevo criterio para evaluar los niveles de iluminación en alumbrado público a partir del sistema de fotometría mesópica de la CIE.
- b) Los avances en la industria de la iluminación que se han tenido desde la publicación de la NOM-013-ENER-2004.
- c) Las deficiencias e inconsistencias encontradas en la normatividad nacional vigente aplicable a los sistemas de alumbrado público.

III.1 Nuevo criterio para cuantificar los niveles de iluminación en alumbrado público

El sistema de fotometría que se utiliza actualmente para cuantificar la luz que percibe el ojo humano se basa en la función fotópica de eficacia luminosa espectral, que fue establecida por la Comisión Internacional de Iluminación en 1924. De acuerdo a esta función, el ojo humano tiene mayor sensibilidad a las fuentes de luz amarilla que a las fuentes de luz blanca.

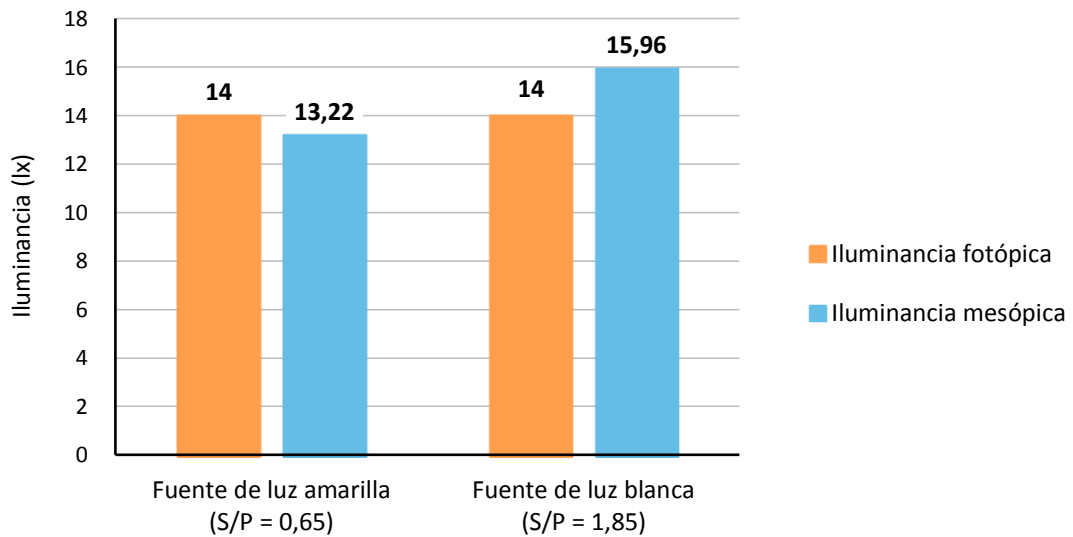
Con el tiempo, el uso de la función fotópica se ha convertido en un paradigma dentro de la práctica de la iluminación; las normas y recomendaciones, así como la calibración de los instrumentos de medición, se basan en dicha función.

No obstante, de acuerdo a lo expuesto en el capítulo anterior, la sensibilidad del ojo humano cambia dependiendo del nivel de iluminación. En particular, con niveles de iluminación como los del alumbrado público, considerando una visión periférica, la función fotópica no describe correctamente la sensibilidad del ojo humano, ya que en estas desempeño visual con las fuentes de luz blanca mejora con respecto a lo que indica dicha función.

En el 2010, después de muchos años de investigación, la Comisión Internacional de Iluminación publicó el reporte técnico CIE 191:2010 *Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance*, en el que recomienda el uso de un sistema de fotometría mesópica para evaluar los niveles de iluminación en el alumbrado de vialidades, así como en otras aplicaciones. Este reporte técnico es la base de una norma internacional ISO/CIE con la que se trabaja actualmente y que será publicada en el futuro (Halonen, 2012).

El sistema de fotometría mesópica de la CIE permite describir con mayor exactitud el desempeño visual del ojo humano ante las condiciones que se presentan en el alumbrado público. Al promover este cambio de paradigma, también se busca aprovechar los beneficios que implica el uso de las fuentes de luz blanca dado el estado del arte de las tecnologías de iluminación.

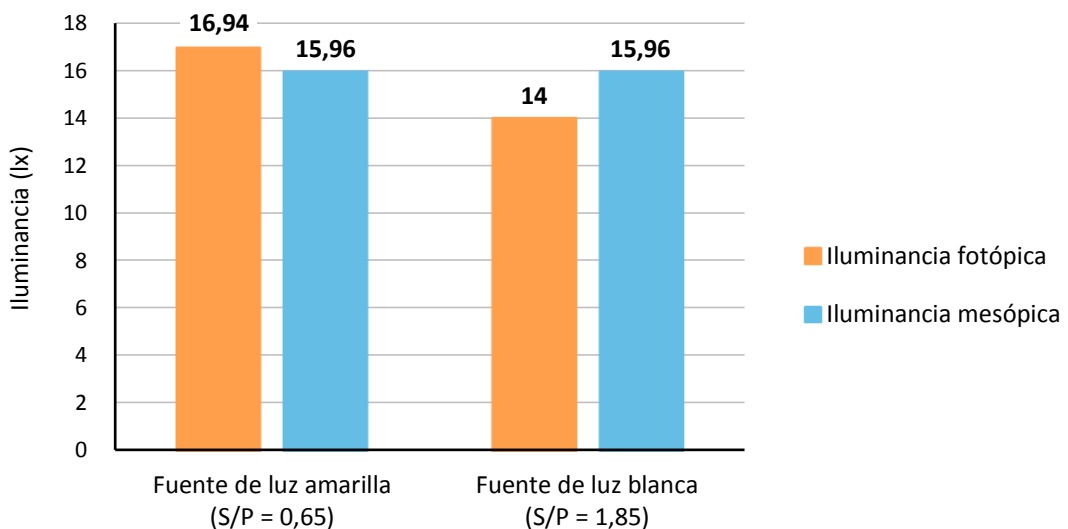
En la Gráfica 3.1, se muestra un ejemplo de lo que implica el uso del sistema de fotometría mesópica de la CIE en la evaluación de los niveles de iluminación característicos del alumbrado de vialidades. Como se observa, si un sistema de luz amarilla –como puede ser vapor de sodio alta presión– y un sistema de luz blanca –como puede ser aditivos metálicos, inducción o LEDs–, tiene el mismo nivel de iluminación evaluado a partir de la función fotópica, entonces el nivel de iluminación mesópico del sistema de luz blanca será mayor al del sistema de luz amarilla; en este caso con el sistema de luz blanca se tendría un mejor desempeño visual que con el sistema de luz amarilla.



Gráfica 3.1 Comparación de niveles de iluminación fotópicos y mesópicos con una fuente de luz amarilla y con una fuente de luz blanca de acuerdo al sistema de fotometría mesópica de la CIE

Elaboración propia

De manera similar, como se observa en la Gráfica 3.2, un sistema de luz blanca puede tener un nivel de iluminación mesópica equivalente al de un sistema de luz amarilla, aunque su nivel de iluminación medido a partir de la función fotópica sea menor; en este caso, ambos sistemas permitirían un desempeño visual equivalente.



Gráfica 3.2 Sistema de luz amarilla y sistema de luz blanca con un desempeño visual equivalente de acuerdo al sistema de fotometría mesópica de la CIE

Elaboración propia

El sistema de fotometría mesópica de la CIE, implica que al emplear sistemas de luz blanca, se puede disminuir la potencia que se requiere para alcanzar un nivel de iluminación equivalente al de un sistema de luz amarilla. Disminuyendo la potencia requerida de los sistemas de alumbrado público sin disminuir el nivel de iluminación, se mejora la eficiencia energética de los mismos. Es importante recalcar que no se trata de disminuir los niveles de iluminación, sino de alcanzar un nivel de iluminación mesópica equivalente, de manera que se tenga el mismo desempeño visual.

El beneficio de utilizar el sistema de fotometría mesópica de la CIE es mayor cuando las fuentes de luz blanca que se utilizan tienen una alta temperatura de color correlacionada y un alto índice de rendimiento de color, lo cual implica una mayor relación S/P y por consiguiente una mayor eficacia en el intervalo mesópico; no obstante es recomendable que la TCC no exceda los 6500 K, ya que con temperaturas mayores, la luz se torna muy azulada o violácea. En cierta forma, el sistema de fotometría mesópica de la CIE promueve la migración de las tecnologías de luz amarilla a las tecnologías de luz blanca de alta calidad.

Adicionalmente, en general, el uso de las fuentes de luz blanca permite percibir un ambiente más natural en el que se identifican con mayor facilidad los detalles y los colores, lo que se traduce en una sensación de mayor bienestar para los usuarios y un mejoramiento de la imagen de las ciudades; en este sentido, diversos estudios y encuestas demuestran que los usuarios del alumbrado público tienen una alta preferencia por la luz blanca (Philips, 2008).



VSAP (TCC 2 100K e IRC 21, relación S/P 0,65)



Inducción (TCC 5 000 K e IRC 85, relación S/P 1,96)

Figura 3.1 Comparación de luz amarilla y luz blanca en una vía principal

Imágenes del acervo de Genertek, S.A. de C.V.



VSAP (TCC 2 100K e IRC 21, relación S/P 0,65)



LEDs (TCC 5 000 K e IRC 70, relación S/P 1,68)

Figura 3. 2 Comparación de luz amarilla y luz blanca en vía secundaria

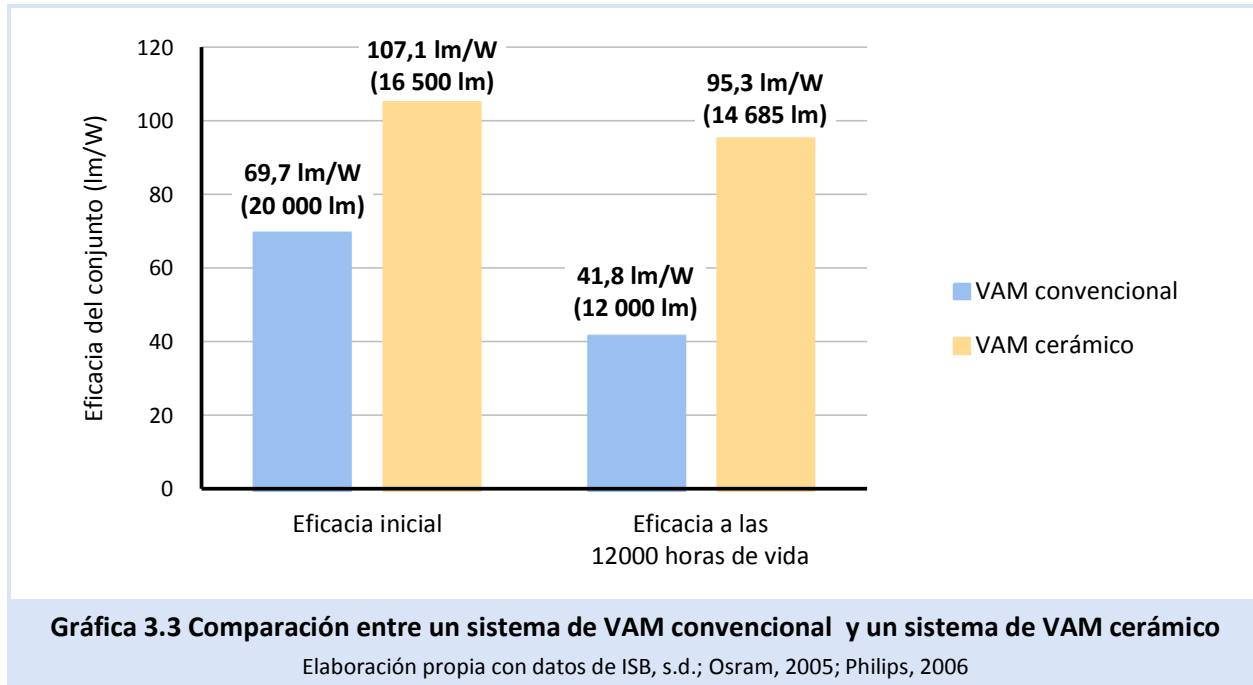
Imágenes del acervo de Genertek, S.A. de C.V.

Uno de los objetivos de esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, es adaptar el sistema de fotometría mesópica de la CIE a la normatividad nacional aplicable al alumbrado de vialidades; esto tendría un gran impacto en el consumo de energía de estos sistemas, ya que en México la mayoría están conformados por equipos de VSAP, que podrían ser sustituidos por sistemas de luz blanca con una menor potencia sin afectar el desempeño visual.

III.2 Avances en la industria de la iluminación

La industria de la iluminación evoluciona constantemente; como ejemplo, varias de las tecnologías que hoy se utilizan en el alumbrado público en todo el mundo, no estaban disponibles o no se usaban en nuestro país en el momento en que entró en vigor la NOM-013-ENER-2004.

Dentro de los sistemas de HID han surgido versiones más eficientes, como es el caso del vapor de sodio alta presión optimizado y aditivos metálicos cerámicos. Por poner un ejemplo, una lámpara de VAM convencional marca Osram de 250 W tiene un flujo luminoso inicial de 20 000 lm, utilizando un balastro electromagnético CWA marca ISB, el sistema tendría una potencia de línea de 287 W, con lo que se obtiene una eficacia inicial de 69,7 lm/W; por otro lado una lámpara de VAM cerámicos marca Philips modelo Cosmopolis de 140 W tiene un flujo luminoso inicial de 16 500 lm, utilizando un balastro electrónico de la misma marca, el sistema tendría una potencia de línea de 154 W, con lo que su eficacia inicial es de 107,1 lm/W; además, es importante considerar la eficacia media, ya que las lámparas de VAM convencional tienen una depreciación de 0,45 a 0,64 a las 12 000 horas de vida, mientras que en esta la lámpara de VAM cerámico es de 0,89. Lo anterior se ilustra en la siguiente gráfica comparativa (para fines prácticos se considera una depreciación de 0,60 en el caso de VAM convencional):



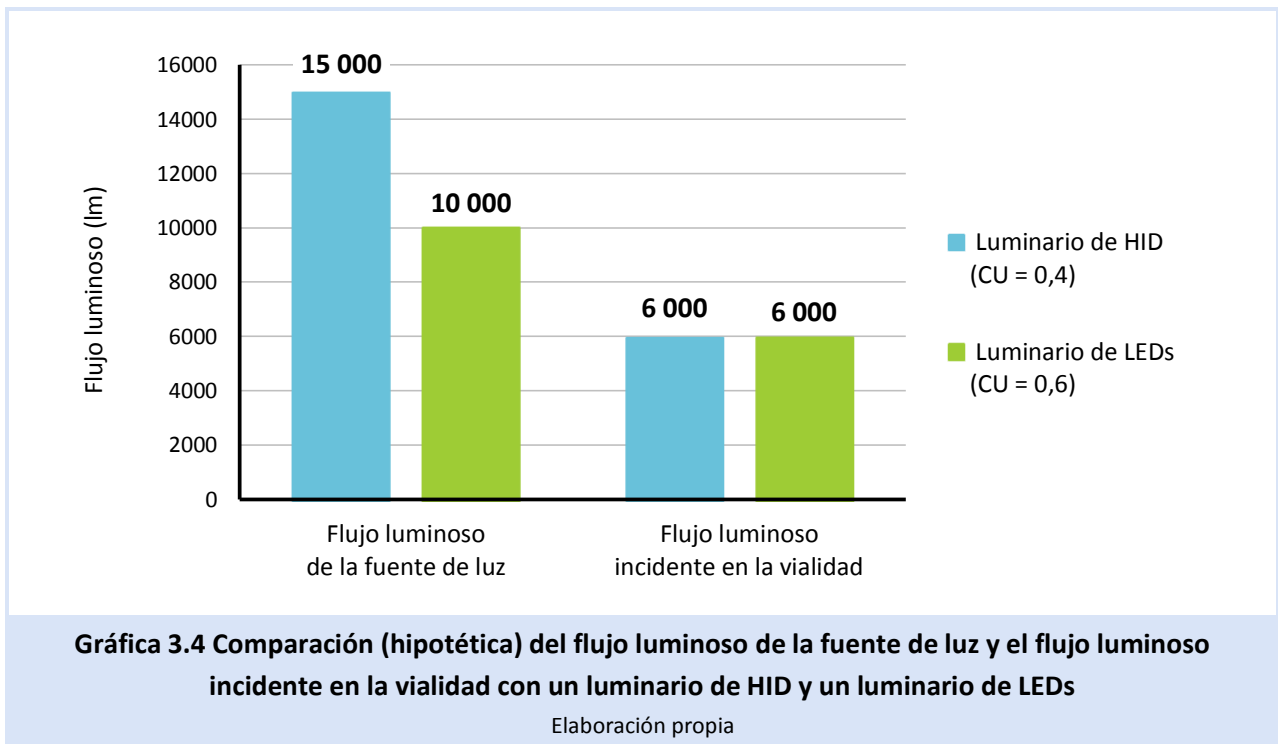
Adicionalmente, el tamaño de las lámparas de las nuevas versiones de HID se ha reducido considerablemente, lo que ha permitido el diseño de nuevos luminarios más eficientes con una gran variedad de curvas fotométricas.

Por otro lado, desde hace un par de años, las lámparas de inducción han tenido un importante impulso en el país, aunque su implementación a gran escala ha sido complicada debido a que la normalización nacional aún no contempla dicha tecnología. No obstante, en 2009 el proyecto “Ahorro de energía en el Municipio de Centro”, realizado en la capital del estado de Tabasco, fue distinguido con el Premio Nacional de Ahorro de Energía en la categoría “Estados y Municipios”, como resultado de la implementación de luminarios de Inducción en el alumbrado público (SENER/CONUEE, 2009).

Las principales ventajas de los sistemas de inducción son su larga vida y baja depreciación, lo cual permite reducir las necesidades de mantenimiento, así como conservar los niveles de iluminación por mayor tiempo; no obstante es importante considerar que las curvas fotométricas de los luminarios de inducción son comúnmente cortas, por lo que no siempre es conveniente implementarlos en vialidades con distancias interpostales considerables.

Finalmente, en la actualidad la mayoría de los grandes fabricantes invierten un gran capital en la investigación y desarrollo de los LEDs, debido a las ventajas que presentan y al gran potencial que tienen.

Aunque los LEDs han alcanzado una eficacia de casi 95 lm/W en los productos que están disponibles comercialmente, su mayor ventaja es el excelente control óptico que tienen; los luminarios de LEDs aprovechan mejor el flujo luminoso, existiendo luminarios de alumbrado de vialidades con coeficientes de utilización de hasta 0,8, en comparación con la mayoría de los luminarios de HID o inducción que típicamente tienen un coeficiente de utilización menor a 0,45; para ejemplificar lo anterior, podemos suponer un sistema de LEDs con un flujo luminoso inicial de 10 000 lm y un CU lado calle de 0,6 para una relación ancho de calle/distancia interpostal igual a 1, y un sistema de HID –o inducción– con un flujo luminoso de 15 000 lm y un CU de 0,4 para la misma relación, se observa que en ambos casos incidirían 6 000 lm en la vialidad. De esta forma los LEDs compensan una eficacia no tan alta mediante la aplicación de ópticas de mayor eficiencia. Lo anterior se ilustra en la siguiente gráfica comparativa:



Complementariamente, la integración de los sistemas de alumbrado público con los sistemas de control inteligente y las fuentes de alimentación de energía renovable permite alcanzar ahorros máximos a partir del uso racional de la energía.

En conclusión, la aplicación de las nuevas tecnologías de iluminación permite mejorar la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado público, lo cual puede tener todavía mayor impacto considerando al mismo tiempo el sistema de fotometría mesópica de la CIE.

III.3 Deficiencias e inconsistencias de la normatividad nacional vigente

Existen dos normas oficiales que se enfocan al alumbrado público en México, la NOM-013-ENER-2004 y la NOM-001-SEDE-2005; la primera establece niveles de eficiencia energética en términos de la densidad de potencia eléctrica para alumbrado; la segunda especifica los requerimientos mínimos para proporcionar una iluminación adecuada en función del tipo de vialidad.

Una de las principales acciones para lograr el incremento de la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de vialidades, es contar con una normatividad actualizada que promueva tal objetivo. En este sentido, la hipótesis central de esta tesis es que para conseguir que la eficiencia energética mejore considerablemente, es necesario tomar en cuenta, además de las nuevas tecnologías en iluminación, el sistema de fotometría mesópica de la CIE.

Si únicamente se considerara la evolución de la industria de la iluminación, bastaría con ajustar los valores de DPEA que establece la NOM-013-ENER-2004 con base en los resultados que se pueden obtener con las tecnologías más eficientes actualmente disponibles; sin embargo, esta medida no tendría un gran impacto considerando el sistema de fotometría actual.

Para aprovechar los beneficios de la aplicación del sistema de fotometría mesópica de la CIE, es necesario que los niveles de iluminación requeridos por la NOM-001-SEDE-2005 y que son empleados en la NOM-013-ENER-2004, se expresen en términos mesópicos; de esta manera para todos los sistemas, independientemente de su distribución espectral, se requiriera un nivel mesópico equivalente para tener un mismo desempeño visual.

En lugar de actualizar las especificaciones referentes a iluminación contenidas en el artículo 930 de la NOM-001-SEDE-2005, la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 que promueve esta tesis, plantea quitar de la NOM-001-SEDE-2005 todas las especificaciones que no son propias de la seguridad de las instalaciones eléctricas –que es el campo de aplicación de dicha norma–; estas especificaciones pueden introducirse en la NOM-013-ENER, ya que están íntimamente ligadas con la eficiencia energética.

Esta tesis se enfoca en definir la forma en que las especificaciones de niveles de iluminación y relaciones de uniformidad del alumbrado de vialidades de la NOM-001-SEDE-2005, que es la aplicación a la que se limita la tesis, pueden ser insertadas en la actualización de la NOM-013-ENER, tomando en cuenta el sistema de fotometría mesópica de la CIE, además de las deficiencias e inconsistencias que presentan ambas normas. A continuación se mencionan algunas de las deficiencias e inconsistencias encontradas, las cuales son consideradas en la elaboración de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER.2004:

Objetivo de la NOM-001-SEDE-2005. El objetivo general de la NOM-001-SEDE-2005 se refiere a establecer las especificaciones de las instalaciones eléctricas de manera que no resulten inseguras para las personas y sus propiedades, como se cita a continuación:

“1.1.1 El objetivo de esta NOM es establecer las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades, en lo referente a la protección contra:

- *Los choques eléctricos,*
- *Los efectos térmicos,*
- *Sobrecorrientes,*
- *Las corrientes de falla y*
- *Sobretensiones.*

El cumplimiento de las disposiciones indicadas en esta norma garantiza el uso de la energía eléctrica en forma segura;...”

No obstante en el Capítulo 9 del Título 4 de dicha norma, referente a las instalaciones destinadas al servicio público, se menciona que: *“Los requisitos aquí establecidos se consideran como los mínimos necesarios para la seguridad y salud del público y de los trabajadores, la preservación del ambiente y el uso racional de la energía”*; lo cual entra en conflicto con el objetivo general de la NOM-001-SEDE-2005.

Particularmente el Artículo 930, que se incluye Capítulo 9 y que es relativo al alumbrado público, tiene el siguiente objetivo: *“...establecer las disposiciones para proporcionar una visión rápida, precisa y confortable durante las horas de la noche en vialidades y zonas públicas”*, lo cual también se contrapone con el objetivo general de la NOM-001-SEDE-2005. El Artículo 930 aborda lo referente a definiciones y clasificación del alumbrado público, niveles de iluminación y relaciones de uniformidad aplicables, así como las características mínimas de los componentes e instalaciones eléctricas.

En este sentido, en algunas reuniones con autoridades de la Secretaría de Energía, se ha expresado de manera extraoficial la intención de quitar de la NOM-001-SEDE todas aquellas especificaciones que no estén directamente relacionadas con la seguridad de instalaciones eléctricas, entre ellas las del Artículo 930. Esto da la pauta para que en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 se inserten las especificaciones relativas a los niveles de iluminación para vialidades establecidos en el artículo 930 de la NOM-001-SEDE.

Una justificación de que los niveles de iluminación de vialidades se inserten en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, reside en el hecho de que la eficiencia energética de un sistema de alumbrado no solo depende del área a iluminar, sino también del nivel de iluminación requerido; para demostrar esto se presentan los siguientes casos hipotéticos:

Parámetro	Caso 1		Caso 2	
	A	B	C	D
Área a iluminar [m ²]	270	270	270	270
Nivel de iluminación requerido [lx]	15	10	15	10
Potencia requerida [W]	250	150	250	250
DPEA [W/m ²]	0,926	0,556	0,926	0,926
[lx/W]	0,060	0,067	0,060	0,040

En el caso 1, que es el caso ideal, se justifica que el sistema A tenga una mayor DPEA ya que requiere de una mayor potencia para dar un mayor nivel de iluminación que el sistema B, no obstante ambos sistemas tienen una eficiencia energética similar ya que los luxes obtenidos por unidad de potencia son casi los mismos; en el caso 2, aunque ambos sistemas tienen la misma DPEA, lo cual podría llevar pensar que tienen la misma eficiencia energética, el sistema C es más eficiente ya que con la misma potencia que el sistema D logra un mayor nivel de iluminación, es decir más luxes para cada unidad de potencia; en este último caso se demuestra que la eficiencia energética no sólo depende de la DPEA, sino también del nivel de iluminación requerido.

Campo de aplicación de la NOM-013-ENER-2004. El campo de aplicación de la NOM-013-ENER-2004 comprende únicamente los sistemas nuevos y las ampliaciones de instalaciones ya existentes; no obstante es importante que la norma también contemple los proyectos en los que se da una sustitución de equipos, como es el caso de los proyectos de ahorro de energía, ya que también se debería verificar que efectivamente se cumpla con la normatividad aplicable. Además, es de suponer que es mayor la cantidad de proyectos de ahorro de energía que se pueden realizar –así como su peso porcentual en la carga total de los sistemas de alumbrado público del país–, en comparación con el número de instalaciones que se pueden construir o ampliar.

Vinculación entre ambas normas. En la NOM-013-ENER-2004 los valores de DPEA para vialidades se especifican en función del ancho de calle y de los niveles de iluminación; la forma correcta de aplicar esta tabla es considerar que cada nivel de iluminación corresponde a un determinado tipo de vialidad, de acuerdo la NOM-001-SEDE-2005, tal como se establece en la

nota que aparece debajo de la tabla: *“El nivel de iluminación a utilizar depende del tipo de vialidad a iluminar, de acuerdo a lo establecido en el artículo 930 “Alumbrado Público” de la Norma NOM-001-SEDE-1999 vigente o la que la sustituya.”*

Ciertamente la DPEA depende del nivel de iluminación que se requiera –y por la tanto del tipo de vialidad–, no obstante la forma en que la NOM-013-ENER-2004 especifica la DPEA causa confusión en su aplicación. Para evitar esta confusión lo mejor es que la NOM-013-ENER especifique los valores de densidad de potencia eléctrica para alumbrado en vialidades en función del tipo de vialidad, de manera similar a como lo hace la NOM-001-SEDE-2005 con los niveles de iluminación; de esta forma, los valores de DPEA también quedarían en función de los niveles de iluminación pero de manera indirecta.

Niveles de iluminación mantenidos. El Artículo 930 de la NOM-001-SEDE-2005 establece los valores mínimos mantenidos de iluminancia promedio aplicables a vialidades; inicialmente este concepto resulta confuso ya que se habla de mínimo y promedio al mismo tiempo. Por otro lado, los niveles mantenidos se refieren a los niveles que la instalación debe mantener en todo momento, sin embargo, el Artículo 930 de la NOM-001-SEDE-2005 no establece la forma en que se determinan o evalúan los niveles mantenidos, por lo que esta consideración queda a la libre interpretación de quien aplique o verifique esta norma.

Para evitar sistemas de alumbrado deficientes que en un principio tienen un nivel de iluminación adecuado pero que unos meses después es insuficiente, es necesario que se especifique de manera precisa como se debe realizar el cálculo de los niveles de iluminación mantenidos, así como poner algunas limitaciones respecto a los valores que se pueden emplear para realizar cálculo.

Método de medición de los niveles de iluminación promedio. En el Artículo 930 de la NOM-001-SEDE-2005 se establecen valores de iluminancia y luminancia promedio, no obstante no se establece la forma en que se determina o evalúa dicho valor promedio, por lo que también queda a la interpretación de quien aplique o verifique esta norma.

En este sentido, resulta conveniente establecer un método sencillo y práctico para verificar los niveles de iluminación en campo, de manera que se asegure que los sistemas cumplan efectivamente con los valores requeridos por la normatividad.

Documentación para la verificación de la norma y método de prueba. Actualmente para verificar el cumplimiento de la NOM-013-ENER-2004, así como las disposiciones referentes a los niveles de iluminación de vialidades especificadas de la NOM-001-SEDE-2005, las unidades verificadoras emplean como únicos recursos los planos del proyecto así como catálogos o fichas

técnicas de los fabricantes. En ocasiones, esta información puede no ser fidedigna o exacta, de manera que es conveniente establecer un método de prueba que permita evaluar con mayor certeza el cumplimiento de la normatividad; el método debe considerar la medición de niveles de iluminación en campo con equipo certificado, así como la presentación de pruebas de laboratorio que comprueben la potencia de línea de los equipos.

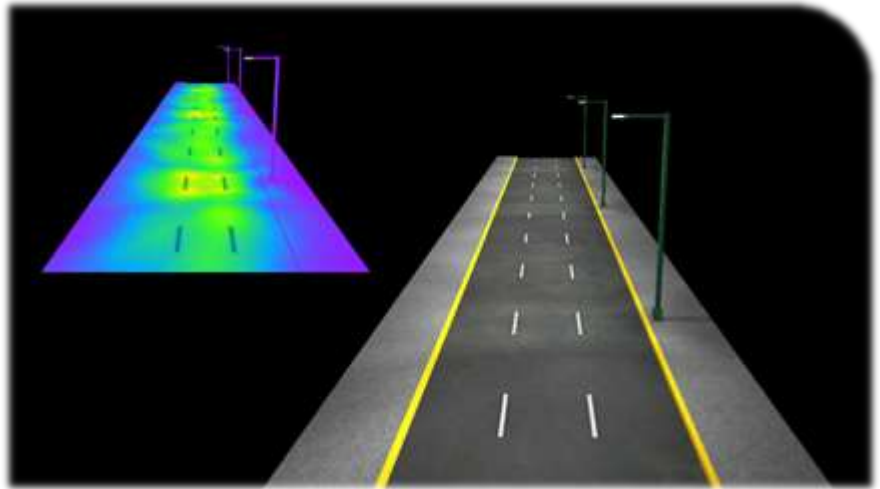
III.4 Justificación en el marco legal

Los aspectos relacionados con la elaboración y observancia de las normas oficiales mexicanas (NOM) y normas mexicanas (NMX) se encuentran regulados por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN) y el Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (RLFMN). Particularmente, el Artículo 51 de la LFMN establece lo siguiente en su penúltimo párrafo:

“Las normas oficiales mexicanas deberán ser revisadas cada 5 años a partir de la fecha de su entrada en vigor, debiendo notificarse al secretariado técnico de la Comisión Nacional de Normalización los resultados de la revisión, dentro de los 60 días naturales posteriores a la terminación del periodo quinquenal correspondiente.”

Lo anterior obedece al hecho de que al paso del tiempo, de manera natural, las normas pueden llegar a ser obsoletas debido a los avances en la industria o al cambio de las necesidades del país, por lo que es recomendable revisarlas de manera periódica con el fin de mantener una normatividad actualizada acorde a las necesidades de un determinado momento.

La NOM-013-ENER-2004 se publicó el martes 19 de abril de 2005 en el diario oficial de la federación. En este sentido, como resultado de su revisión quinquenal correspondiente, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos incluyó a la NOM-013-ENER-2004 dentro del listado de normas vigentes a ser modificadas en el marco del Programa Nacional de Normalización 2011, con el objetivo de *“ajustar los valores de eficiencia energética a la nueva realidad tecnológica”*; no obstante, por el momento no se ha presentado una propuesta de actualización.



IV. Elementos de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004

En el presente capítulo se exponen los fundamentos técnicos, consideraciones, cálculos y simulaciones que se tomaron en cuenta para formular los elementos que conforman la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004. Asimismo, previamente, se plantea el contenido y estructura que debe tener la propuesta de acuerdo a los lineamientos que establece la normatividad nacional aplicable.

IV.1 Contenido y estructura

La Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN) establece en su Artículo 41 los elementos generales que deben contener las normas oficiales mexicanas, los cuales se resumen a continuación:

- La denominación de la norma y su clave o código, así como las finalidades de la misma.
- La identificación del producto, servicio, método, proceso, instalación o, en su caso, del objeto de la norma.
- Las especificaciones y características del producto, servicio, método, proceso o instalación, que se establezcan en la norma en razón de su finalidad.
- Los métodos de prueba aplicables en relación con la norma y en su caso, los de muestreo.

- Los datos y demás información que deban contener los productos.
- El grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración.
- La bibliografía que corresponda a la norma.
- La mención de la o las dependencias que vigilaran el cumplimiento de la norma.
- Las otras menciones que se consideren convenientes para la debida comprensión y alcance de la norma.

El Artículo 28 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (RLFMN) indica los lineamientos a los que se debe ajustar el contenido de las normas oficiales mexicanas; particularmente la fracción III de dicho artículo establece que deben ser redactadas y estructuradas de acuerdo a lo que establezcan las normas mexicanas expedidas para tal efecto. En este sentido, la norma mexicana NMX-Z-013/1-1977 *Guía para la Redacción, Estructuración y Presentación de las Normas Mexicanas*, establece una serie de reglas que deben cumplirse en la redacción, estructuración y presentación de Anteproyectos, Proyectos y Normas Mexicanas.

Tomando en cuenta lo establecido en estos tres documentos, la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 se compone de la siguiente manera:

Tabla 4.1 Estructura y contenido de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004

	NOM-013-ENER-2004	Propuesta de actualización
Elementos generales que introducen al contenido técnico de la norma	0. Introducción	
	1. Objetivo	1. Objetivo
	2. Campo de aplicación	2. Campo de aplicación
	3. Referencias	3. Referencias
	4. Definiciones	4. Definiciones
Elementos que constituyen el contenido técnico de la norma	5. Clasificación	5. Clasificación
	6. Especificaciones	6. Especificaciones
	7. Método de cálculo	7. Método de prueba
Contenido adicional establecido en la LFMN	8. Vigilancia	8. Vigilancia
	9. Evaluación de la conformidad	9. Procedimiento de evaluación de la conformidad
Elementos complementarios	10. Bibliografía	10. Bibliografía
	11. Concordancia con normas internacionales	11. Concordancia con normas internacionales

Como se observa, la estructura general de la propuesta es muy similar a la de la norma actual; cambia el nombre de dos elementos con la finalidad de que coincidan con los términos

utilizados en la normatividad nacional, asimismo se omite la introducción debido a que en el documento actual su contenido es muy similar al del objetivo, además, de acuerdo a la norma NMX-Z-013/1-1977, la introducción es un elemento no obligatorio que se incluye sólo en caso de ser conveniente.

A continuación se plantean las consideraciones que se tomaron en cuenta para desarrollar cada uno de los elementos de la propuesta, no obstante, en el Capítulo V se incluye de manera textual la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004. Cada uno de los elementos de esta propuesta trata de apegarse a los lineamientos de la NMX-Z-013/1-1977.

IV.2 Elementos generales que introducen al contenido técnico de la norma

Las modificaciones propuestas al objetivo, campo de aplicación, referencias y definiciones, se derivan principalmente de la inserción de las especificaciones relativas a los niveles de iluminación de la NOM-001-SEDE-2005.

IV.2.1 Objetivo

De acuerdo a la NMX-Z-013/1-1977, el objetivo debe definir sin ambigüedad el tema y propósito de la norma, aunque el tema esté claramente indicado en el título de la misma. A continuación se cita el objetivo de la NOM-013-ENER-2004:

La presente Norma Oficial Mexicana tiene por objetivo establecer niveles de eficiencia energética en términos de valores de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA), según se especifique, con los que deben cumplir las nuevas instalaciones para alumbrado público y áreas exteriores públicas en las diferentes aplicaciones que se indican en la presente Norma, con el propósito de que se diseñen o construyan bajo un criterio de uso eficiente de la energía eléctrica, mediante la optimización de diseños y la aplicación de equipos y tecnologías que incrementen la eficacia sin menoscabo de los requerimientos visuales.

En este sentido, la redacción del objetivo de esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 contempla los siguientes puntos:

- Al introducir las especificaciones relativas a los niveles de iluminación, es importante considerar lo establecido en el objetivo del artículo 930 de la NOM-001-SEDE-2005.
- No es necesario mencionar si son instalaciones nuevas, ampliaciones o modificaciones ya que esto se menciona en el campo de aplicación.

- Es conveniente no mencionar la adopción del sistema de fotometría mesópica de la CIE a fin de que el objetivo sea breve y concreto.

IV.2.2 Campo de aplicación

El campo de aplicación de la NOM-013-ENER-2004 comprende las instalaciones nuevas y las ampliaciones de sistemas para alumbrado para vialidades, estacionamientos abiertos, cerrados o techados y áreas exteriores públicas; por otro lado entre las excepciones, se encuentran aeropuertos, alumbrado de emergencia, alumbrado dentro de predios de viviendas, señalización, túneles y pasos a desnivel, entre otros. De esta forma, los cambios al campo de aplicación de la propuesta consideran lo siguiente:

- El alumbrado de vialidades difiere en varias características del alumbrado de áreas exteriores públicas y estacionamientos públicos. Por lo anterior, resulta conveniente que la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 se enfoque únicamente en el alumbrado de vialidades y que se elabore otra norma que esté orientada específicamente a las áreas exteriores públicas y a los estacionamientos públicos, con el fin de tener una normatividad simplificada que evite confusiones y que no tenga una extensión excesiva.
- La aplicación de la NOM-013-ENER no se debe limitar a las instalaciones nuevas o a las ampliaciones, ya que de esa manera se omiten los proyectos en los que se sustituyen una gran cantidad de equipos, como es el caso de los proyectos de ahorro de energía.
- Los alcances del presente trabajo no incluyen el análisis de las especificaciones de túneles y pasos a desnivel. Para estas aplicaciones se considera necesario establecer un método de prueba particular, así como definir los niveles de eficiencia energética aplicables

Es importante notar que al modificar el campo de aplicación de la NOM-013-ENER bajo estas consideraciones, también se debe modificar el título y el objetivo de la norma de manera que hagan alusión únicamente al alumbrado de vialidades.

IV.2.3 Referencias

De acuerdo a la NMX-Z-013/1-1977, las referencias tienen como fin proporcionar un listado de las normas que sean indispensables para la aplicación de la norma en cuestión.

Las referencias incluidas en la NOM-013-ENER-2004, incluyen la NOM-001-SEDE-1999, *Instalaciones Eléctricas (utilización)* y la NOM-008-SCFI-2002, *Sistema general de unidades de medida*. Los cambios propuestos para esta sección se basan en los siguientes puntos:

- Al trasladar las especificaciones de niveles de iluminación para alumbrado de vialidades de la NOM-001-SEDE-2005 a la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, ya no es necesario que esta norma se incluya en las referencias.
- Con el fin de que se verifique apropiadamente la DPEA es necesario conocer la potencia de línea de los equipos, para lo cual es recomendable presentar un informe de pruebas de un laboratorio acreditado, basado en el método de medición especificado en la normatividad que corresponda. Considerando lo anterior, las referencias deben incluir las normas que especifiquen los métodos de medición para cada tipo de equipo.

IV.2.4 Definiciones

La NOM-013-ENER-2004 incluye las definiciones de alumbrado de exteriores, alumbrado público, estacionamiento público, sistema para alumbrado, vialidad y superposte. En este sentido, además de algunas de las definiciones de la NOM-001-SEDE-2005, se considera necesario que en la propuesta de actualización se agreguen definiciones relacionadas con los siguientes temas:

- Tipos de tecnologías. La aplicación del método de prueba de la propuesta de actualización requiere cierto nivel de conocimiento sobre las tecnologías de iluminación; adicionalmente, el Artículo 930-4 de la NOM-001-SEDE-2005 prohíbe el uso de algunas tecnologías, por lo que al pasar esta especificación a la propuesta de actualización es conveniente que se definan dichas tecnologías con el fin de no dejar un vacío en la normatividad.
- Conceptos relacionados con el sistema de fotometría mesópica de la CIE. Únicamente los imprescindibles para poder aplicar las especificaciones y método de prueba que se definan.

Varios términos que se incluyen en las definiciones de la propuesta de actualización están definidos en otras normas –como en la NMX-J-619-ANCE-2009, *Iluminación - Definiciones y Terminología*–, sin embargo, algunas de sus definiciones son imprecisas o están incompletas, razón por la cual, la propuesta incluye sus propias definiciones que fueron formuladas a partir de diversas fuentes que se incluyen en la bibliografía de esta tesis.

IV.3 Elementos que constituyen el contenido técnico de la norma

Esta parte de la propuesta presenta los cambios más importantes, ya que incluye las especificaciones y el método de prueba. Aunque de acuerdo a la estructura de la propuesta, las especificaciones van antes que el método de prueba, en esta tesis se describen primero las consideraciones y fundamentos del método de prueba, ya que las especificaciones propuestas se obtienen a partir de simulaciones y cálculos empleando el método de prueba planteado.

IV.3.1 Clasificación

Basándose en la NMX-Z-013/1-1977, este elemento tiene la finalidad de establecer un sistema de clasificación y designación de los productos o servicios que están dentro del campo de aplicación de la norma.

Debido a la relación que guardan, la NOM-013-ENER-2004 debería tener una clasificación idéntica a la que establece la NOM-001-SEDE-1999 o su versión vigente, no obstante existen diferencias entre la clasificación que definen ambas normas. En este sentido, la clasificación de la propuesta de actualización es la misma que se establece en las tablas 930-6 (a) y 930-6 (b) de la NOM-001-SEDE-2005, en las que especifican los niveles de luminancia e iluminancia; únicamente se agrega la definición de vías de acceso controlado y vías rápidas, que no está contenida en el artículo 930-3 de dicha norma. Adicionalmente, ya que el campo de aplicación de esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 se limita al alumbrado de vialidades, en la clasificación se omiten los estacionamientos y áreas exteriores públicas.

Tabla 4.2 Clasificación del alumbrado de vialidades de acuerdo a la NOM-013-ENER-2004 y a la NOM-001-SEDE-2005

Clasificación de vialidades		
De acuerdo al punto 5.1 de la NOM-013-ENER-2004	De acuerdo a la NOM-001-SEDE-1999 / NOM-001-SEDE-2005	
	Artículo 930-3 Clasificación del alumbrado público	Tabla 930-6(a) Valores mantenidos de luminancia
Autopistas	Autopistas	Autopistas
Carreteras	Carreteras	Carreteras
Vías rápidas	---	Vías de acceso controlado y vías rápidas
Vías principales	Vías principales y ejes viales	Vías principales y ejes viales
Vías secundarias	Vías secundarias (Tipo A, B y C)	Vías secundarias (Tipo A, B y C)
---	Vías colectoras o primarias	Vías primarias o colectoras
Ciclopistas	---	---

IV.3.2 Método de prueba

De acuerdo a la NMX-Z-013/1-1977, el método de prueba debe proporcionar las instrucciones referentes al procedimiento normalizado para determinar los valores de las especificaciones o para comprobar los requerimientos establecidos en la norma en cuestión, de forma que se garantice la reproducibilidad de los resultados.

Como se mencionó anteriormente, la NOM-001-SEDE-2005 no establece un método de prueba para verificar los niveles de iluminación y las relaciones de uniformidad de vialidades; por otro lado, la NOM-013-ENER-2004 indica que para obtener la DPEA se debe hacer uso de los planos del proyecto de la instalación eléctrica y los valores de potencia obtenidos de los fabricantes.

El método de prueba de esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 pretende proporcionar un procedimiento sistemático, reproducible y práctico, que permita verificar el cumplimiento de sus especificaciones. A manera de resumen, el método de prueba propuesto comprende los siguientes pasos:

- 1) Medición de los niveles de iluminación en la instalación –valores fotópicos medidos con un luxómetro convencional–, considerando una muestra de casos.
- 2) Cálculos para obtener el nivel de iluminación fotópico promedio inicial, así como las relaciones de uniformidad.
- 3) Cálculo del nivel de iluminación fotópico promedio mantenido, tomando en cuenta la depreciación del flujo luminoso y la depreciación por ensuciamiento del luminario.
- 4) Conversión de los valores fotópicos a valores mesópicos de acuerdo al sistema de fotometría mesópica de la CIE.
- 5) Cálculo de la DPEA a partir de los planos de la instalación y de los informes de prueba en los que se indique la potencia de línea de los equipos.

A continuación se mencionan las consideraciones y fundamentos técnicos que se tomaron en cuenta para definir el método de prueba propuesto.

IV.3.2.1 Método de medición de los niveles de iluminación

De acuerdo a la norma ANSI/IES RP-8-00 *Roadway Lighting* los niveles de iluminación en alumbrado público pueden determinarse por medio de tres criterios distintos: iluminancia, luminancia y visibilidad de objeto pequeño (*SVT* por las siglas en inglés de *small target visibility*); en la práctica de la iluminación en México, es más empleado el criterio de la iluminancia, por lo que es conveniente que los niveles de iluminación se verifiquen por medio de dicho criterio, no obstante es recomendable que paulatinamente se comience a utilizar el método de luminancia.

El nivel de iluminación está dado por el valor promedio, mientras que la uniformidad se define a partir de las relaciones máximo entre mínimo y promedio entre mínimo. Idealmente, la iluminancia promedio es la media aritmética en el área de interés, considerando un número infinito de puntos de medición ubicados al nivel del suelo; mientras que los valores máximo y mínimo, son los valores de iluminancia más alto y más bajo que se tienen en dicha área.

Los métodos de medición o cálculo establecen un conjunto finito de puntos de medición distribuidos en el área de interés, cuya posición y cantidad depende de las dimensiones de la vialidad; en general, los valores promedio, máximo y mínimo dependen del número de puntos de medición, así como de su ubicación.

Algunos métodos de medición definen una cantidad considerable de puntos, en cuyo caso la iluminancia promedio se calcula a partir de la media aritmética de la iluminancia de todos los puntos de medición. Entre estos métodos se encuentra el definido por la CIE en su reporte técnico CIE 140-2000 *Road Lighting Calculations*, y el de la IES planteado en el Anexo A de la norma ANSI/IES RP-8-00 *Roadway Lighting*.

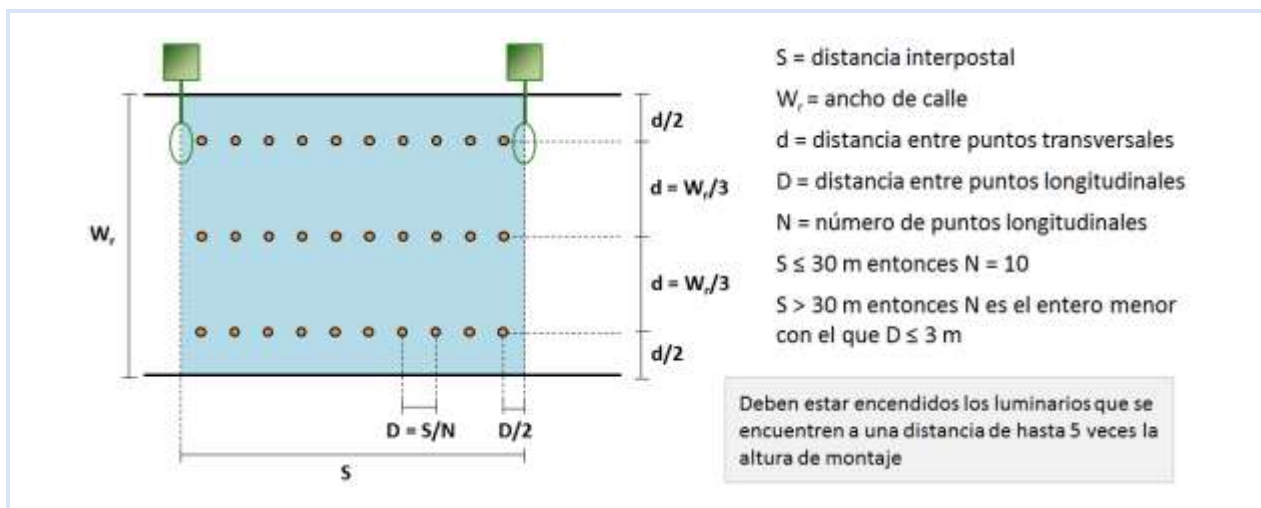


Figura 4.1 Método de medición de la CIE

Elaboración propia con datos de CIE, 2000

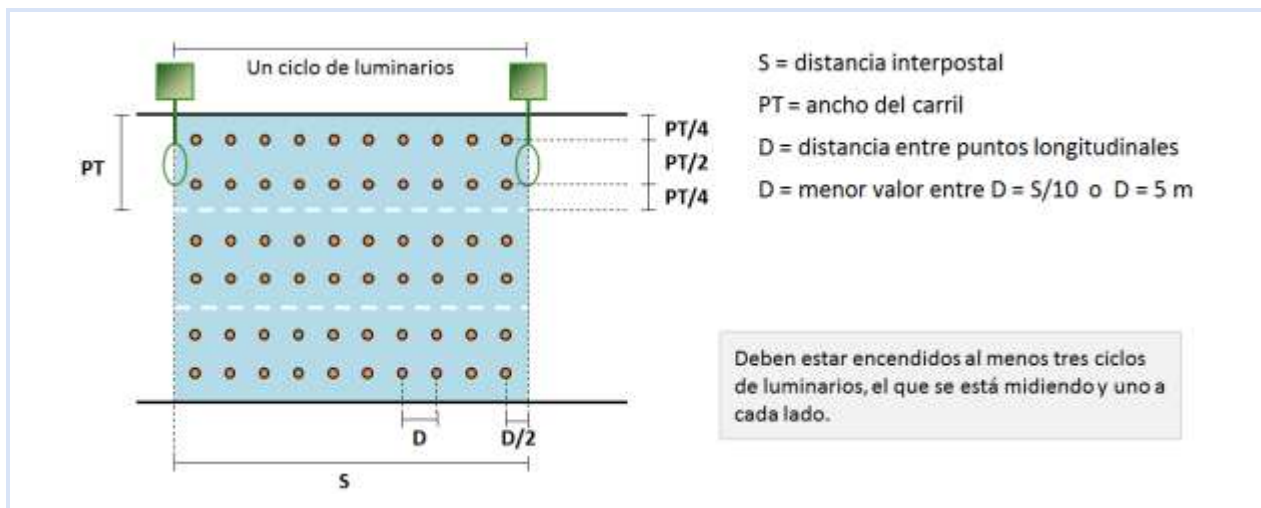


Figura 4.2 Método de medición de la IES

Elaboración propia con datos de IES, 2000

También existen métodos numéricos que permiten calcular de manera aproximada el valor promedio a partir de una cantidad mínima de puntos. Uno de estos métodos es el llamado método de los nueve puntos, el cual divide la zona de interés en nueve áreas menores suponiendo una iluminancia uniforme para cada una; en este caso, la iluminancia promedio se calcula a partir de un promedio ponderado de las iluminancias que se tienen en cada una de las áreas de acuerdo a la siguiente expresión:

$$E_{prom} = \frac{(E_1 + E_3 + E_7 + E_9) + 2(E_2 + E_4 + E_6 + E_8) + 4E_5}{16} \quad (4.1)$$

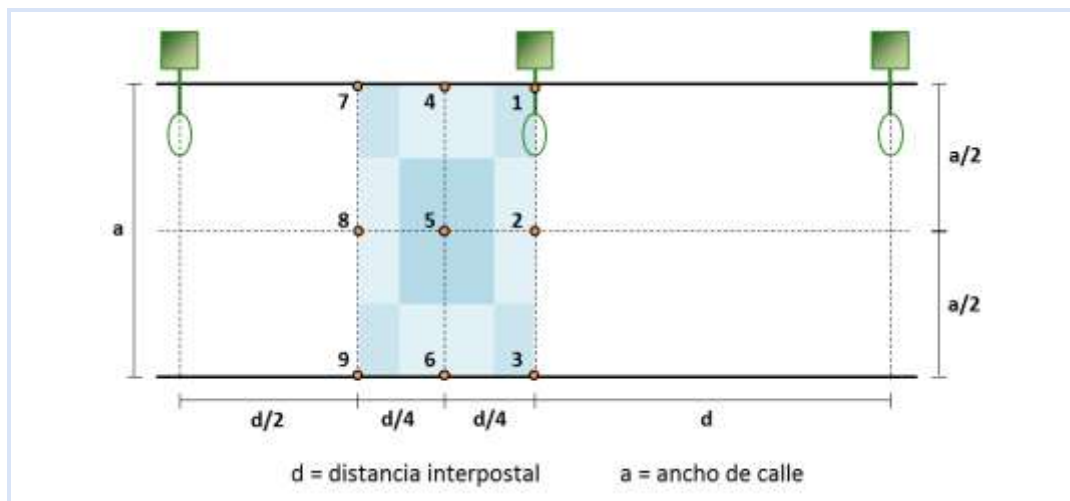


Figura 4.3 Método de los nueve puntos

Elaboración propia con datos de Ministerio de Minas y Energía, 2010

Debido a la gran cantidad de puntos de medición que requieren, los métodos de la CIE y de la IES resultan imprácticos para ser empleados en las mediciones de campo. En este sentido, se considera conveniente que el método de medición de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 cumpla con las siguientes premisas:

- Debe ser práctico. Para realizar mediciones en campo es imprescindible que se cierre la calle al paso de vehículos en el tramo en cuestión, de manera que no se ponga en peligro la vida de alguna de las personas que este participando en las mismas; no obstante que las mediciones se deben realizar en la noche, es preferible que el tiempo requerido sea mínimo con el de fin de no causar afectaciones a la circulación.
- Debe ser simple. Es conveniente que el número de puntos de medición sea mínimo y que no se requieran fórmulas para determinar la cantidad de puntos dependiendo de las dimensiones de la calle o algún otro parámetro, de tal manera que no se dificulte la comprensión del método de medición.

- Debe proporcionar una aproximación aceptable de los valores promedio, máximo y mínimo, de forma que puedan verificarse el nivel de iluminancia promedio y las relaciones de uniformidad.

De los tres métodos mencionados, es claro que el único que cumple con las primeras dos premisas es el método de los nueve puntos, sin embargo, para emplearlo en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, es conveniente conocer y evaluar su exactitud.

En el Anexo B, se presentan los resultados de algunas simulaciones realizadas con el programa de cómputo DIALux, en las que se calculó y comparó la iluminancia promedio y las relaciones de uniformidad obtenidas de acuerdo al método de los nueve puntos y a los métodos de la CIE y la IES. Las simulaciones se realizaron para tres casos distintos en los que se varió la distancia interpostal, ancho de calle y altura de montaje; cada caso se simuló con tres luminarios diferentes, de tal forma que se tuvieran datos con condiciones variadas. La siguiente tabla muestra el resumen de los resultados obtenidos:

Tabla 4.3 Resumen de los resultados de algunas simulaciones realizadas para comparar el método de los nueve puntos con los métodos de la CIE y de la IES

	En comparación con el método de la CIE			En comparación con el método de la IES		
	Diferencia mínima	Diferencia máxima	Diferencia promedio	Diferencia mínima	Diferencia máxima	Diferencia promedio
Iluminancia Mínima	-6.9%	-57.8%	-22.9%	-7.6%	-38.6%	-14.4%
Iluminancia Máxima	0.0%	-25.0%	-2.9%	2.6%	-25.0%	-6.5%
Iluminancia Promedio	-2.4%	-13.8%	-6.4%	-2.2%	-13.0%	-6.2%
Uniformidad Max/Min	2.9%	121.9%	31.7%	-1.6%	39.6%	10.3%
Uniformidad Prom/Min	2.2%	115.0%	27.3%	-1.9%	45.5%	10.9%

En general, las diferencias entre los valores obtenidos con cada método, dependen de la distribución de los luminarios y de su curva, así como de las dimensiones de la vialidad.

La iluminancia promedio que se obtuvo con el método de los nueve puntos es muy similar a la de los métodos de la CIE y la IES, ya que en promedio la diferencia en ambos casos no excedió el 7%; cabe mencionar que, en la mayoría de los casos, el valor calculado con el método de los nueve puntos fue menor al obtenido con los otros dos métodos.

Por otro lado, en la iluminancia máxima tampoco se tuvo una gran diferencia, sin embargo, en la iluminancia mínima se obtuvieron valores considerablemente menores a los obtenidos con el método de la CIE y la IES; esto se explica por el hecho de que el método de los nueve puntos mide puntos más críticos, como lo son las orillas de la vialidad, mientras que los métodos de la CIE y la IES no lo hacen, tal como se observa en las Figuras 4.1, 4.2 y 4.3; en comparación con el método de la IES la diferencia promedio de la iluminancia mínima fue de 14,4%, mientras que con el método de la CIE fue de 22,9%, considerando que este último método mide puntos menos críticos ya que no están tan cercanos a la acera.

La diferencia en la iluminancia mínima impactó directamente en las relaciones de uniformidad, ya que como se observa en la Tabla 4.3, los valores calculados con el método de los nueve puntos fueron mucho mayores que los obtenidos con los métodos de la CIE y la IES; específicamente, la diferencia al comparar con el método de la CIE fue en promedio del 25%, mientras que con el método de la IES fue un poco mayor al 10%.

Particularmente, el método de la IES es el recomendado para verificar los niveles de iluminación establecidos en la norma ANSI/IES RP-8-00; por lo que dicho método debería estar especificado en el Artículo 930 de la NOM-001-SEDE-2005, ya que las especificaciones del mismo se basan en dicha norma. En este sentido, cabe destacar que las diferencias que se obtuvieron al comparar el método de los nueve puntos con el método de la IES son menores que las que se tuvieron con el método de la CIE, como se observa en la Tabla 4.3.

Basándose en lo anterior, se considera que el método de los nueve puntos es adecuado para evaluar los niveles de iluminancia en el alumbrado de vialidades, por lo que puede ser empleado en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004.

Es importante considerar que el método de los nueve puntos está diseñado para obtener un valor aproximado a la iluminancia promedio, no de los valores de iluminancia mínima y máxima; los valores obtenidos para las relaciones de uniformidad con el método de los nueve puntos no son incorrectos, pero se debe tomar en cuenta que las especificaciones definidas por la CIE y la IES están íntimamente relacionadas con sus respectivos métodos de medición; dicho de otra forma, no se puede solicitar que al emplear el método de los nueve puntos se cumpla con los mismos valores de relaciones de uniformidad que especifican la CIE y la IES, sin embargo, una solución es permitir cierta tolerancia con base en las diferencias encontradas.

Se debe aclarar que el método de medición propuesto no debe utilizarse como un criterio de diseño, sino únicamente como un método simplificado que permite evaluar de manera aproximada los niveles de iluminación que se tienen en el alumbrado de vialidades.

Adicionalmente, es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones respecto a la medición de los niveles de iluminación en el alumbrado de vialidades:

- Existen varias distribuciones de luminarios que se pueden aplicar en el alumbrado de vialidades, por lo que es conveniente incluir el diagrama que describa la cuadrícula de medición aplicable para las distribuciones más comunes.
- Las mediciones se deben realizar con un luxómetro con corrección de color y corrección cosenoidal, de manera similar a como lo establece la norma NOM-025-STPS-2008 *Condiciones de iluminación en los centros de trabajo*. Además, es altamente recomendable que el equipo este ajustado para medir en un rango bajo no mayor a 200 lx, con el fin de minimizar los errores de medición del equipo.
- El luxómetro debe estar debidamente calibrado, lo cual se debe demostrar mediante el certificado de calibración vigente de acuerdo a lo establecido en la LFMN.
- Las fuentes de luz deben tener un envejecimiento previo de 100 horas mínimo, con el fin de que proporcionen su salida de luz nominal al inicio de su vida.
- El lugar de las mediciones, en la medida de lo posible, no debe ser afectado por sistemas de iluminación ajenos al que se está evaluando; además, no deben existir objetos o personas que dificulten u obstruyan la luz que llega al instrumento de medición.
- Para algunos tipos de vialidades, la tabla 930-6(c) de la NOM-001-SEDE-2005 especifica los niveles de iluminación que se deben tener en las aceras; aunque en esta tesis no se analiza un método de medición para verificar dichos valores, se recomienda que para fines prácticos, el promedio se obtenga de la media aritmética de los valores obtenidos en 4 puntos de medición ubicados a la mitad de la acera –andador o banqueteta– como se observa en la siguiente figura:

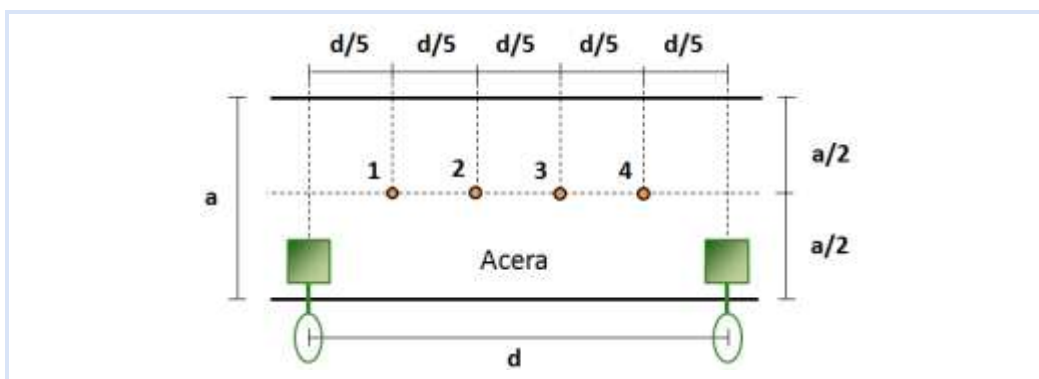


Figura 4.4 Método propuesto para verificar los niveles de iluminación en aceras

Elaboración propia

IV.3.2.2 Método de muestreo para definir los lugares de medición

Cada proyecto de alumbrado público tiene sus características particulares que lo diferencian de los demás; se puede tener un proyecto que sólo comprenda el alumbrado de una nueva vialidad, en cuyo caso usualmente se encontrará únicamente un tipo de luminario, además de que las dimensiones de ancho de calle, distancia interpostal y altura de montaje serán prácticamente las mismas a lo largo de la calle; por otro lado, en proyectos como los de ahorro de energía, se pueden sustituir los equipos en varias calles de diferentes características, en las que además se tienen diferentes tipos de luminarios a instalar.

Por lo anterior, en la mayoría de los casos, es muy difícil verificar los niveles de iluminación mediante mediciones en todas las vialidades que conforman un proyecto.

En cada proyecto se pueden definir diferentes casos en función del tipo de vialidad, el luminario instalado y las dimensiones de ancho de calle, altura de montaje, distancia interpostal, largo del brazo e inclinación del luminario; si en varias calles se tienen las mismas características, basta con realizar la medición de los niveles de iluminación en una sola de ellas, lo cual puede reducir considerablemente el número de lugares en los que se tengan que realizar mediciones. Sin embargo, aun considerando esto, la cantidad de casos que se pueden encontrar puede ser considerable, especialmente en los proyectos de ahorro de energía.

Tomando en cuenta lo anterior, resulta complicado establecer un método de muestreo sistemático para definir los lugares de medición en donde se verificará el cumplimiento de los niveles de iluminación; en este sentido, la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 no define un método de muestreo, únicamente establece que la unidad verificadora se debe encargar de, mediante un análisis de información y visitas a la instalación, definir los lugares en los que se realizaran mediciones para verificar el cumplimiento de los niveles de iluminación, los cuales deberán ser representativos de al menos el 80% del total de los luminarios instalados dentro del proyecto.

IV.3.2.3 Conversión a niveles de iluminación mesópicos

Una vez que el sistema de fotometría mesópica de la CIE sea establecido como un estándar internacional, es probable que se desarrollen nuevos equipos de medición que permitan medir la iluminancia o luminancia mesópica a partir del modelo establecido por la CIE, ya sea que cuenten con un sensor fotópico y un sensor escotópico, o que solo tenga el sensor fotópico y que se pueda introducir el valor de la relación S/P de la fuente de luz que se esté midiendo; no obstante, no se sabe cuánto tiempo pueda transcurrir para ello y además, los equipos pueden ser muy caros al inicio.

No es necesario usar un equipo para poder evaluar los niveles de iluminación mesópica; los valores de iluminancia fotópica obtenidos con un luxómetro convencional –calibrado con la curva fotópica–, se pueden convertir a valores de iluminancia mesópica mediante las ecuaciones indicadas en el reporte técnico CIE 191:2010, conociendo la relación S/P de la fuente de luz.

Para aplicar el sistema de fotometría mesópica de la CIE, el presente documento sigue un procedimiento similar al establecido en el documento *ASSIST recommends... Outdoor lighting: Visual efficacy*, en el que describe la forma en que se debe utilizar el sistema de fotometría unificada. Como ejemplo, a continuación se muestra el procedimiento para calcular el valor de iluminancia mesópica equivalente que le corresponde a una iluminancia fotópica de 15 lx, considerando una relación S/P de 0,65 y un pavimento tipo R₂:

- 1) Convertir el valor de iluminancia (lx) a su valor equivalente de luminancia (cd/m²), considerando el tipo de pavimento, a partir de la ecuación 1.2. Es importante destacar que para cada tipo de pavimento se obtiene un valor diferente de luminancia; para el ejemplo, de acuerdo a la tabla 930-5(a) de la NOM-001-SEDE-2005 para un tipo de pavimento R₂ el valor de la reflectancia es $\rho = 0,07$:

$$L_v = \frac{E_v \times \rho}{\pi} = \frac{15 \times 0,07}{\pi} = 0,3342 \text{ cd/m}^2 \quad (4.2)$$

- 2) Calcular la luminancia mesópica equivalente por medio del proceso iterativo definido por las ecuaciones 2.11 y 2.12, de acuerdo a lo mencionado en el capítulo dos de esta tesis. Para el ejemplo se tiene que la luminancia fotópica es $L_p = L_v = 0,3342 \text{ cd/m}^2$, y la relación S/P es igual a 0,65, por lo que $L_s = 0,2172 \text{ cd/m}^2$; además, independientemente del valor de luminancia fotópica, $m_0 = 0,5$ y $V'(\lambda_0) = 683/1699$, con lo que se obtiene:

$$L_{mes,n} = \frac{m_{(n-1)}L_p + (1 - m_{(n-1)})L_sV'(\lambda_0)}{m_{(n-1)} + (1 - m_{(n-1)})V'(\lambda_0)} \quad (4.3)$$

$$L_{mes,1} = \frac{0,5 \times 0,3342 + (1 - 0,5) \times 0,2172 \times 0,402}{0,5 + (1 - 0,5) \times 0,402} = 0,3007 \quad (4.4)$$

Para obtener los siguientes valores de m , se usa la expresión 2.12, considerando que $a = 0,767$ y $b = 0,334$:

$$m_n = a + b \log_{10}(L_{mes,n}) \quad (4.5)$$

$$m_1 = 0,767 + 0,334 \log_{10}(L_{mes,1}) = 0,767 + 0,334 \log_{10}(0,3007) = 0,5930 \quad (4.6)$$

Con el valor de m_1 se obtiene el valor de $L_{mes,2}$:

$$L_{mes,2} = \frac{0,5930 \times 0,3342 + (1 - 0,5930) \times 0,2172 \times 0,402}{0,5930 + (1 - 0,5930) \times 0,402} = 0,3089 \quad (4.7)$$

Siguiendo el mismo procedimiento se puede obtener la siguiente tabla de valores:

n	0	1	2	3	4	5
$L_{mes,n}$	---	0.3007	0.3089	0.3092	0.3092	0.3092
m_n	0.5000	0.5930	0.5969	0.5971	0.5971	0.5971

El valor definitivo de L_{mes} se obtiene cuando su valor deja de variar considerablemente, que en el caso del ejemplo, esto se logra cuando $n = 3$. De esta forma, una luminancia fotópica de $0,3342 \text{ cd/m}^2$ con una relación S/P de $0,65$ es equivalente a una luminancia mesópica de $0,3092 \text{ cd/m}^2$.

- 3) Convertir el valor de luminancia mesópica (cd/m^2) a su valor equivalente de iluminancia mesópica (lx), considerando el mismo tipo de pavimento, despejando de la ecuación 1.2 la iluminancia:

$$E_v = \frac{L_v \times \pi}{\rho} = \frac{0,3092 \times \pi}{0,07} = 13,88 \text{ lx} \rightarrow E_{mes} = 13,88 \text{ lx} \quad (4.8)$$

Por lo tanto, una iluminancia fotópica de 15 lx con una relación S/P de $0,65$ en un pavimento tipo R_2 , equivale a una iluminancia mesópica de $13,88 \text{ lx}$.

Como se puede ver en el ejemplo anterior, realizar los cálculos para obtener la iluminancia mesópica no es algo complejo, sin embargo, representa una cantidad considerable de operaciones; por esta razón, para la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, se considera más conveniente utilizar tablas de conversión en lugar de indicar las ecuaciones que se deben emplear.

Dichas tablas deben estar definidas para los niveles de iluminación que usualmente se tienen en el alumbrado de vialidades, así como para las relaciones S/P de las fuentes de luz más comunes en dicha aplicación; además, para que no sea necesario convertir valores de luminancia a valores de iluminancia y viceversa, deben estar en función de la iluminancia, para lo cual se requiere de una tabla para cada tipo de pavimento definido en la NOM-001-SEDE-2005.

Por otro lado, se propone que únicamente se conviertan los valores de iluminancia promedio a su equivalente mesópico, ya que la relación entre la iluminancia fotópica y la

iluminancia mesópica depende del nivel de adaptación del ojo humano, el cual se adapta a un solo nivel de iluminación a la vez, y que puede ser representado por el valor promedio.

Con base en lo anterior, se decidió que las tablas de conversión a iluminancia mesópica equivalente que se elaboraran para la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, fueran definidas dentro de un intervalo de 1,5 a 30 lx de iluminancia fotópica, con un espaciado de 0,5 lx, y para una relación S/P de 0,40 a 2,50, con espacios de 0,05.

Para facilitar el cálculo de todos los valores, se empleó una hoja de cálculo en la que se programaron las operaciones necesarias y únicamente se copiaron las celdas para cada valor de iluminancia fotópica y para cada valor de relación S/P. Las tablas de conversión a iluminancia mesópica que se elaboraron para la propuesta de actualización, se incluyen en el siguiente capítulo; estas tablas se deben emplear para convertir el nivel mantenido de iluminancia fotópica promedio a su equivalente mesópico para obtener el nivel mantenido de iluminación mesópica promedio.

IV.3.2.4 Relación S/P para cada tipo de tecnología

La mayoría de los fabricantes no publica los valores de la relación S/P de sus lámparas o fuentes de luz, debido a que no es un parámetro utilizado comúnmente; en un inicio, esto puede representar un inconveniente para aplicar el sistema de fotometría mesópica de la CIE, no obstante, es seguro que cuando este sistema se establezca como un estándar internacional, los fabricantes comenzarán a incluir la relación S/P en sus fichas técnicas.

Por el momento es conveniente incluir una tabla de relaciones S/P típicas para cada tecnología. En los casos en los que se presente un informe de pruebas que indique el valor exacto de la relación S/P, se pueda utilizar el valor reportado en dicho informe, en caso contrario se utilizarían los valores de la tabla de relaciones S/P incluida en la propuesta.

Para elaborar la tabla de relaciones S/P se consultaron diversas fuentes bibliográficas y se construyó una base de datos con la relación S/P de distintas fuentes de luz, la cual puede ser consultada en el Anexo C de esta tesis. Se comprobó que la relación S/P de cada tipo de tecnología se encuentra dentro de un intervalo típico el cual depende de aquellos parámetros que influyen en la distribución espectral de una fuente de luz (TCC, IRC, recubrimiento interno del bulbo, entre otros). Analizando la base de datos obtenida, se determinó que el parámetro que caracteriza en mayor medida la relación S/P es la temperatura de color correlacionada, aunque el índice de rendimiento de color también interviene en menor medida; en la Figura 4.5 se muestra una gráfica de Sylvania en la que se muestra cómo cambia la relación S/P de acuerdo con la TCC.

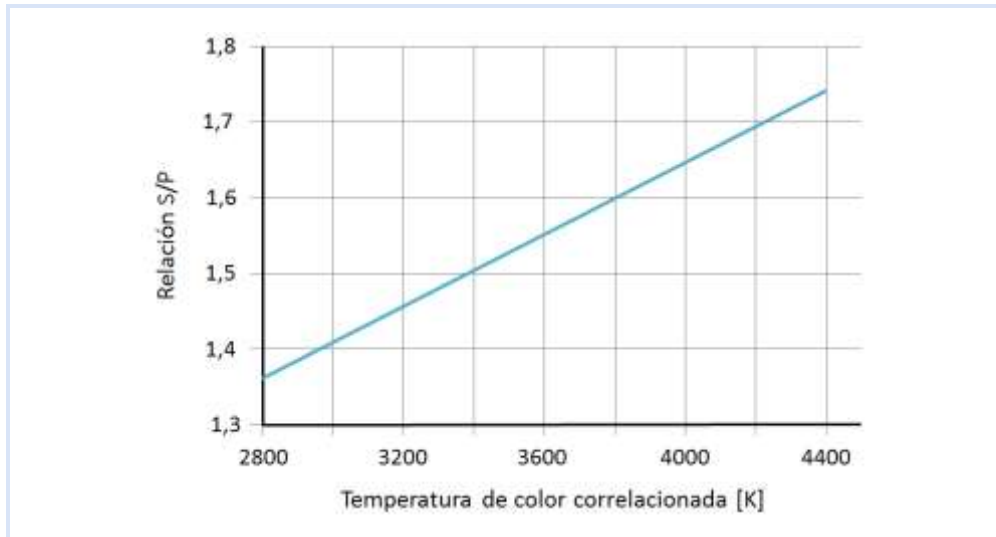


Figura 4.5 Relación S/P de lámparas de VAM y VAM PS en función de la TCC

Gráfica adaptada de Sylvania, 2005

La Figura 4.5 muestra una relación lineal entre la temperatura de color correlacionada y la relación S/P, sin embargo sólo es una aproximación, ya que para una misma TCC se pueden tener diferentes relaciones S/P, por ejemplo, cuando se tiene un IRC diferente.

Analizando la base de datos, se decidió que la tabla de relaciones S/P estuviera en función del tipo de tecnología y de la TCC. Como no es posible crear una tabla que establezca la relación S/P para cada temperatura de color, ya que influyen otros factores, se optó por establecer intervalos de TCC y determinar los valores máximo y mínimo de relación S/P que se tenían para cada uno; los intervalos de TCC fueron definidos considerando las temperaturas de color más comunes para cada tecnología, basándose en las tablas del Anexo A; finalmente se consideró conveniente que el valor de relación S/P que se definiera para cada tecnología, fuera el valor medio entre los valores máximo y mínimo encontrados en cada caso. Adicionalmente, se dejó abierta la posibilidad de utilizar el valor reportado en un informe de pruebas de un laboratorio certificado en caso de que lo presente el fabricante o proveedor.

En los casos de las lámparas de inducción y de los LEDs, se realizaron algunas consideraciones adicionales, ya que no se contaron con datos suficientes. Para las lámparas de inducción se utilizaron algunos valores de lámparas fluorescentes, tomando en cuenta que el principio de producción de luz es el mismo, además de que los recubrimientos fosfóricos que tienen generan la misma distribución espectral –aunque en algunos casos las lámparas de inducción pueden tener recubrimientos que permiten alcanzar mayores índices de rendimiento de color–. Para los LEDs, que representan un caso muy particular, se tomaron en cuenta algunos valores de otras tecnologías considerando su TCC e IRC. La tabla obtenida es la siguiente:

Tabla 4.4 Tabla de relaciones S/P en función de la tecnología y del intervalo de la TCC

Tipo de lámpara	TCC	Intervalo de S/P	S/P media
Aditivos metálicos con tubo de descarga de cuarzo	menor a 3500 K	$1,46 < S/P < 1,52$	1,49
	de 3500 K a 4000 K	$1,55 < S/P < 1,65$	1,60
	mayor a 4000 K	$1,68 < S/P < 1,74$	1,71
Aditivos metálicos con tubo de descarga cerámico	menor a 3000 K	$1,20 < S/P < 1,32$	1,26
	mayor a 3000 K	$1,31 < S/P < 1,36$	1,34
Inducción inductor interno e inductor externo	2700 K	$1,00 < S/P < 1,30$	1,15
	4000 y 4100 K	$1,54 < S/P < 1,70$	1,62
	5000 K	$1,91 < S/P < 1,97$	1,94
LEDs	de 3500 K a 4500 K	$1,44 < S/P < 1,74$	1,59
	de 4501 K a 5500 K	$1,59 < S/P < 1,97$	1,78
	mayor a 5500 K	$1,94 < S/P < 2,14$	2,04
Vapor de sodio alta presión	hasta 2200 K	$0,62 < S/P < 0,66$	0,64

Adicionalmente, en la Tabla C2 de esta tesis se indica el dato y fuente que se tomó en cuenta para definir los límites inferior y superior para cada tecnología.

IV.3.2.5 Cálculo de los niveles de iluminación mantenidos

La NOM-001-SEDE-2005 establece niveles de iluminación mantenidos, no obstante este concepto no está definido en dicha norma ni se indica la forma en que deben evaluarse.

Propiamente, este término hace referencia al nivel de iluminación mínimo con el que debe cumplir un sistema de alumbrado en todo momento desde su instalación. Con el tiempo, diversos factores provocan una reducción de la salida de luz de los luminarios, por lo que después de un tiempo pueden dejar de proporcionar la iluminación adecuada; esto también se traduce en una disminución de la eficiencia energética.

La norma ANSI/IES RP-8-00 establece en su Anexo A –que propiamente no es un anexo normativo, sino únicamente informativo–, la forma de calcular los niveles de iluminación mantenidos en función del factor de pérdida de luz (LLF, por sus siglas en inglés):

$$\text{Nivel mantenido} = \text{Nivel inicial} \times \text{LLF} \quad (4.9)$$

El LLF es el producto de diversos factores evaluados de manera independiente, los cuales se agrupan en el factor de mantenimiento (F_M), que incluye aquellos que pueden ser corregidos con el mantenimiento de la instalación, y el factor del equipo (F_{Eq}), que son los que no dependen del mantenimiento sino de las características propias de los equipos.

$$\text{LLF} = F_M \times F_{Eq} \quad (4.10)$$

El factor de mantenimiento es el producto de la depreciación del flujo luminoso (DFL), el factor de depreciación por ensuciamiento del luminario (F_E) y el porcentaje de lámparas muertas que no son sustituidas de manera oportuna; por otro lado, el factor del equipo considera los efectos de la temperatura de operación, el voltaje en la instalación, el factor de balastro (FB) y la depreciación de los componentes del luminario. Propiamente el LLF se define como el producto de todos los factores antes mencionados, no obstante, debido a que varios de estos parámetros son difíciles de determinar, la IES recomienda que el LLF se calcule considerando al menos la depreciación del flujo luminoso y el factor de ensuciamiento del luminario. De esta forma el nivel mantenido se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Nivel mantenido} = \text{Nivel inicial} \times DFL \times F_E \quad (4.11)$$

En la presente propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, el nivel inicial está dado por el nivel de iluminancia fotópica promedio calculada con los valores de los nueve puntos de las mediciones en campo. Finalmente, el nivel mantenido que se obtiene del cálculo debe convertirse a su equivalente mesópico para compararlo con las especificaciones que se definen más adelante.

Depreciación del flujo luminoso (DFL). La depreciación del flujo luminoso se puede expresar a un porcentaje de la vida nominal o a un cierto número de horas. En general, la mayoría de los fabricantes expresan la DFL al 40% de la vida nominal, sólo en algunos casos proporcionan una curva de depreciación o el valor de la depreciación a diferentes intervalos de horas de vida.

Actualmente comparar la depreciación de las diferentes tecnologías a un determinado porcentaje de vida puede resultar injusto, ya que tecnologías como inducción y LEDs tienen una vida nominal notablemente superior. Por lo anterior, se propone que la DFL que se utilice para verificar los niveles mantenidos sea a un número de horas específico, de manera que se promueva el uso de tecnologías de larga vida y baja depreciación. En este sentido, se considera conveniente utilizar el valor de DFL a las 12 000 horas –que equivale aproximadamente a 3 años de operación en alumbrado público– valor elegido principalmente porque algunas tecnologías no superan esas horas de vida.

Considerando esto y que la depreciación del flujo luminoso depende en gran parte del tipo de tecnología, se propone incluir una tabla de depreciación por tecnología en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004.

Si bien la depreciación de los diferentes modelos de lámparas de cada tipo de tecnología puede variar, en términos prácticos la evaluación de los niveles mantenidos siempre será un cálculo aproximado, por lo que se consideró suficiente tomar en cuenta un valor medio de

acuerdo a las características propias de cada tecnología. Se decidió no dejar abierta la posibilidad de que el fabricante o proveedor entreguen un informe de pruebas que demuestre un cierto valor de depreciación, ya que usualmente estas pruebas se realizan en los laboratorios de los fabricantes bajo condiciones definidas por los mismos.

Para elaborar la tabla de depreciación del flujo luminoso se consultaron varias fichas técnicas de fabricantes, las cuales debían proporcionar una curva de depreciación o el valor de depreciación a las 12 000 horas –o en su defecto muy cercano a este número de horas–. Con la información recabada se construyó una base de datos, la cual se incluye en el Anexo D de esta tesis; únicamente en el caso de inducción y de los LEDs se tuvieron que hacer algunas consideraciones adicionales ya que no se encontraron datos con estas características.

En el caso de inducción, sólo se encontró un dato de una lámpara de inductor interno a las 12 000 horas y otro de una lámpara de inductor externo al 40% de la vida; la mayoría de los fabricantes solo mencionan que las lámparas de inducción tienen una depreciación menor a 70% a las 60 000 horas de vida. Para tener mayor información se buscaron datos sobre lámparas fluorescentes rectas T8 y T5 que, aunque no tienen el mismo principio de operación y cuentan con cátodos, comparten el mismo principio de producción de luz; en teoría una lámpara de inducción debería tener menor depreciación al no tener cátodos, ya que el desgaste de estos elementos en las lámparas fluorescentes es una de las causas que influyen en la reducción de su flujo luminoso. Finalmente de manera conservadora, se decidió tomar el valor medio entre el valor mínimo encontrado para lámparas fluorescentes rectas (0,92) y el valor de la lámpara de inducción inductor interno (0,88), dando como resultado una DFL de 0,90.

La vida y depreciación de los LEDs, dependen de la corriente y temperatura de operación en su junta. Ya que cada día surgen nuevos modelos de LEDs, resulta impráctico determinar su vida nominal y depreciación mediante pruebas de envejecimiento de larga duración; por esta razón se ha buscado establecer métodos de prueba acelerados, de los cuales, el más reconocido es el método IES LM-80-08 *Measuring lumen maintenance of LED light sources*, el cual establece mediciones de flujo luminoso hasta las 6 000 horas –si es factible, hasta las 10 000 horas–, y los datos obtenidos pueden extrapolarse mediante el método IES TM-21-11 *Projecting long term lumen maintenance of LED light sources*.

En general, es difícil encontrar datos de depreciación para LEDs, y más aún a las 12 000 horas de vida, ya que usualmente únicamente se especifica el número de horas a las que se tiene una depreciación de 0,70 –que es el valor al que se especifica su vida nominal–; además, si no existe una correcta disipación de calor, la vida y depreciación de un módulo de LEDs puede ser diferente a la que se tiene cuando se integra a un luminario.

En este sentido, se encontraron datos de LEDs de Osram, Philips y CREE, medidos a diferentes intervalos de acuerdo al método IES LM-80-08. En todos los casos se observó una depreciación mínima, no menor de 0,93 a las 6 000 horas de vida para los datos de Osram (datos medidos), de 0,95 para los datos de Philips a las 9 000 horas (datos medidos) y de 0,92 a las 25 000 horas en el caso de CREE (datos proyectados). Con base en dicha información, se decidió aplicar un valor de 0,92 para la DFL de los luminarios de LEDs.

Para definir la DFL las demás tecnologías, únicamente se tomó el valor medio entre los valores mínimo y máximo encontrados en cada caso. A continuación se muestra la tabla de depreciación elaborada para la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, mencionando además la vida nominal y la depreciación al 40% de la vida:

Tabla 4.5 Tabla de depreciación del flujo luminoso por tecnología

Tipo de lámpara	Vida nominal [Horas]	Intervalo de DFL al 40% de la vida nominal	Intervalo de DFL a las 12 000 horas de vida	DFL media a las 12 000 horas de vida
Aditivos metálicos con tubo de descarga de cuarzo (convencional)	10 000 a 20 000	0,60 a 0,72	0,45 a 0,64	0,545
Aditivos metálicos con tubo de descarga de cuarzo (arranque por pulso)	10 000 a 20 000	0,65 a 0,90	0,45 a 0,85	0,650
Aditivos metálicos con tubo de descarga cerámico	15 000 a 30 000	0,64 a 0,89	0,58 a 0,89	0,735
Inducción inductor interno e inductor externo	60 000 a 100 000	s.d.	s.d.	0,900
LEDs	35 000 a 50 000	s.d.	s.d.	0,920
Vapor de sodio alta presión	18 000 a 32 000	0,81 a 0,92	0,81 a 0,94	0,875
Vapor de sodio alta presión optimizado	28 000 a 36 000	0,85 a 0,95	0,84 a 0,96	0,895

Adicionalmente, en el caso de los LEDs, es altamente recomendable que se solicite al fabricante presentar un informe de prueba de acuerdo al método IES LM-80-08, el cual permitirá al usuario tener mayor certidumbre sobre la depreciación de los equipos de esta tecnología.

Factor de depreciación por ensuciamiento del luminario (F_E). El factor de depreciación por ensuciamiento se relaciona con la acumulación de polvo y otras partículas en la superficie de los componentes ópticos del luminario, lo cual provoca que su salida de luz se reduzca con el paso del tiempo. Este factor depende de otros parámetros como las condiciones del lugar, el grado de protección del luminario, así como el periodo de mantenimiento y limpieza.

El anexo A de la norma ANSI/IES RP-8-00 únicamente considera las condiciones del lugar y el periodo de mantenimiento; particularmente establece las siguientes categorías para el lugar de la instalación:

- Muy limpio. Sin actividades cercanas que generen humo o polvo con una baja contaminación ambiental. Tráfico de vehículos reducido. Generalmente limitado a áreas rurales y residenciales. El nivel de partículas no es mayor a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Limpio. Sin actividades cercanas que generen humo o polvo. Tráfico de vehículos de reducido a moderado. El nivel de partículas no es mayor a $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Moderado. Con algunas actividades cercanas que generan humo o polvo. El nivel de partículas no es mayor a $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Sucio. Con actividades cercanas que generan nubes de polvo o humo que envuelven algunas veces a los luminarios.
- Muy sucio. Con actividades cercanas que generan nubes de polvo o humo que envuelven comúnmente a los luminarios.

Cada una de estas categorías es propensa a presentar una cierta depreciación en función del tiempo, la cual se caracteriza en la norma ANSI/IES RP-8-00 mediante una curva de depreciación, como se muestra a continuación:

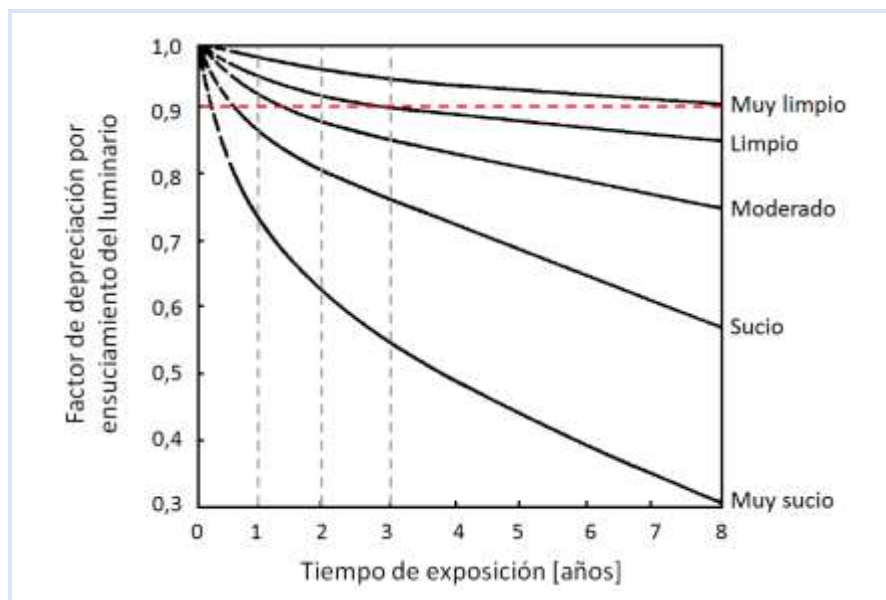


Figura 4.6 Curvas de depreciación por ensuciamiento del luminario de acuerdo a la norma ANSI/IES RP-8-00

Gráfica adaptada de Illuminating Engineering Society, 2005

Como se puede observar, de acuerdo al anexo A de la norma ANSI/IES RP-8-00, la selección del factor de ensuciamiento depende del tiempo de exposición, o dicho de otra forma, del periodo de mantenimiento que se considere en la especificación de los sistemas de iluminación;

no obstante estos periodos no siempre se cumplen en la práctica, por lo que no es posible asegurar, a la hora de especificar los equipos, que una instalación recibirá mantenimiento cada determinado tiempo.

En el caso de la CIE, el reporte técnico CIE 154:2003 *The maintenance of outdoor lighting systems* toma en cuenta, adicionalmente al nivel de contaminación y periodo de mantenimiento, el grado de protección IP del luminario. En general, la mayoría de los luminarios de alumbrado público tienen un grado de protección IP65 –el primer dígito indica el nivel de protección contra objetos sólidos y el segundo dígito establece el grado de protección a los líquidos–, que indica que el polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia y que no debe entrar agua cuando se aplica un chorro de cierta intensidad durante un determinado tiempo; a pesar de la protección, con el tiempo se llega a introducir cierta cantidad de polvo o insectos que cubren los componentes ópticos del luminario, especialmente cuando al dar mantenimiento no es cerrado apropiadamente el mismo, lo cual provoca una reducción de la salida efectiva de luz.

Para el grado de protección IP6X –la X indica cualquier nivel de protección contra líquidos–, la CIE recomienda los siguientes valores para el factor de depreciación por ensuciamiento del luminario:

Tabla 4.6 Factor de depreciación por ensuciamiento para luminarios con un grado de protección IP6X de acuerdo al reporte técnico CIE 154:2003

Grado de protección IP del luminario	Nivel de contaminación	Periodo de limpieza o mantenimiento				
		12 meses	18 meses	24 meses	36 meses	48 meses
IP6X	Alto	0,91	0,90	0,88	0,83	0,80
	Medio	0,92	0,91	0,89	0,87	0,86
	Bajo	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89

Como se observa, norma ANSI/IES RP-8-00 y el reporte técnico CIE 154:2003 difieren considerablemente en los valores que le dan al factor de depreciación por ensuciamiento del luminario, especialmente en los casos con un nivel alto de contaminación.

Por lo anterior, comprobar que se haya seleccionado un factor de ensuciamiento adecuado para una determinada instalación es algo complicado, tomando en cuenta que la medición se realizaría sólo al principio de la vida útil de los nuevos sistemas. En este sentido, se tomó la decisión de no elaborar una tabla o curvas de depreciación por ensuciamiento del luminario para la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, principalmente porque es difícil corroborar que una instalación tendrá un cierto periodo de mantenimiento y saber cuál de las dos recomendaciones es más cercana a la realidad.

Por estas dificultades, se concluyó que, para fines prácticos, era mejor establecer un valor mínimo que sirviera para verificar de manera aproximada el ensuciamiento del luminario en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004. En este sentido, se seleccionó el valor de 0,90, que en el caso del reporte técnico CIE 154:2003 corresponde a un periodo de mantenimiento de 36 meses para una instalación con nivel de contaminación bajo, o de 3 años para un lugar limpio de acuerdo a la norma ANSI/IES RP-8-00.

No obstante, se reconoce que el factor de ensuciamiento depende de muchas variables, por lo que es importante aclarar que este valor no debe ser utilizado como un criterio de diseño; la persona que especifique o diseñe una instalación de alumbrado de vialidades debe tomar sus propias consideraciones, que en varios casos pueden exceder lo especificado en la presente propuesta.

IV.3.2.6 Cálculo de las relaciones de uniformidad

Para calcular las relaciones de uniformidad en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 se deben utilizar los valores de iluminancia mínima, máxima y promedio obtenidos de la medición en campo con el método de los nueve puntos. Las relaciones de uniformidad requeridas en la propuesta de actualización se deben calcular a partir de las siguientes expresiones:

$$\frac{E_{prom}}{E_{min}} \quad (4.12)$$

$$\frac{E_{max}}{E_{min}} \quad (4.13)$$

No es necesaria una tercera relación de uniformidad ya que al establecer los límites de estas dos relaciones, también se establece el límite de la relación de E_{max}/E_{prom} .

Adicionalmente, en las especificaciones de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 se considera un porcentaje de 10% de tolerancia en las relaciones de uniformidad, debido a las diferencias encontradas entre los valores obtenidos con el método medición de los nueve puntos y el método de la IES.

IV.3.2.7 Cálculo de la densidad de potencia eléctrica para alumbrado

Para calcular la densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) en esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 se aplica la misma expresión que se establece en la norma actual, es decir:

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}} \quad (4.14)$$

En donde la DPEA está expresada en W/m^2 ; la carga total conectada para alumbrado se obtiene considerando la potencia del conjunto –medida en Watt– multiplicada por el número de equipos empleados para iluminar las vialidades; el área total iluminada es la superficie de la vialidad que iluminan los sistemas de alumbrado correspondientes.

Actualmente la NOM-013-ENER-2004 indica que los datos requeridos se deben obtener de los planos del proyecto de la instalación eléctrica y de la información de los equipos que proporciona el fabricante, no obstante para la propuesta de actualización se consideró lo siguiente:

- En algunas ocasiones, la potencia nominal especificada en las fichas técnicas del fabricante difiere considerablemente de la potencia real que se da en la práctica; por lo anterior, en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 se establece que el fabricante debe demostrar la potencia de entrada de los equipos, mediante un informe de pruebas de un laboratorio acreditado para cada uno de los modelos que se instalen. En este sentido, la propuesta también indica la normatividad o método que se debe emplear para medir la potencia de entrada para cada tipo de tecnología.
- En el caso de las instalaciones nuevas, usualmente se cuenta con los planos del proyecto, sin embargo, cuando se sustituyen los equipos de una instalación ya existente, difícilmente se cuenta con dicha información o no se encuentra actualizada; por esta razón se debe mencionar que el área total iluminada se obtiene de los planos del proyecto y/o de la información proporcionada por el municipio sobre las vialidades en cuestión.

La prueba para medir la potencia del conjunto de los equipos iluminación no es compleja, sin embargo, es necesario cuidar ciertas condiciones a la hora de realizar las mediciones, tales como temperatura ambiente, características de la onda de voltaje, tiempo de estabilización, etc.

En el caso de las lámparas de HID, la norma aplicable es la NMX-J-530-ANCE-2008, *Iluminación-Guía para la medición de características eléctricas y fotométricas para lámparas de descarga en alta intensidad*; para los LEDs, el método aplicable se establece en el apéndice A de la norma NOM-030-ENER-2012 *Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba*; sin embargo, en el caso de inducción no existe una norma nacional que establezca como determinar la potencia de entrada.

Al respecto, la única referencia nacional que se encontró fue la especificación de Sello FIDE No. 4172 *Luminarios con lámparas de inducción*, la cual indica que el método de prueba a utilizarse debe basarse en lo establecido en la NMX-J-198-ANCE-2005 *Productos Eléctricos - Iluminación - Balastros para lámparas fluorescentes - Métodos de prueba*. Tomando en cuenta lo anterior, en la propuesta de actualización se decidió indicar que para los sistemas de inducción se utilice la norma NMX-J-198-ANCE, principalmente porque no se contó con alguna otra referencia nacional o internacional que indicará las características de la prueba.

IV.3.3 Especificaciones

La presente propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 incluye las especificaciones relativas a los niveles de iluminación y la densidad de potencia eléctrica para alumbrado para vialidades. Estas especificaciones fueron definidas considerando las características de las diferentes tecnologías de iluminación, así como el sistema de fotometría mesópica de la CIE.

Particularmente, para determinar los valores aplicables para la DPEA se realizaron simulaciones en un programa de cómputo especializado, de manera que se pudieran determinar los niveles de iluminación que se pueden obtener en la práctica con las diferentes potencias de cada tecnología, empleando el método de prueba definido anteriormente.

A continuación se mencionan las consideraciones técnicas que se tomaron en cuenta para definir cada una de las especificaciones de la presente propuesta de actualización.

IV.3.3.1 Niveles mantenidos de iluminancia mesópica promedio

Para que el sistema de fotometría mesópica de la CIE tenga un impacto en la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de vialidades, es necesario que los niveles de iluminación requeridos para esta aplicación sean expresados en términos de su equivalente mesópico; sin embargo, hasta el momento la CIE y la IES no han publicado algún documento en el que indiquen cómo se debe aplicar este nuevo sistema de fotometría a sus especificaciones sobre alumbrado de vialidades.

Los niveles de iluminación para vialidades de la NOM-001-SEDE-2005 están basados en la norma ANSI/IES RP-8-00, la cual no ha sufrido cambios en los últimos años; en este sentido, la presente propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, al incluir los niveles de iluminación para el alumbrado de vialidades, no pretende cambiar la norma en la que se basan dichos niveles, únicamente calcular su equivalente mesópico y expresarlos de esa manera;

particularmente, sustituir los niveles de iluminación requeridos actualmente por los que especifica la CIE, representaría un aumento de los niveles de iluminación requeridos para el alumbrado de vialidades, lo cual implicaría la necesidad de incrementar la densidad de carga que se necesita para esta aplicación, con lo que no se tendría ningún ahorro de energía.

Con base en lo anterior, se analizaron dos opciones para expresar los niveles de iluminación especificados en la NOM-001-SEDE-2005 en términos mesópicos:

A. Convertir los valores empleando la relación S/P de los sistemas de VSAP. Por más de veinte años los sistemas de VSAP han sido los más utilizados para el alumbrado público en México y en el mundo; durante este tiempo, se ha considerado que si un sistema de VSAP cumple con los niveles solicitados en las normas ANSI/IES RP-8-00 y NOM-001-SEDE-2005 –que son valores fotópicos–, entonces el nivel de iluminación que proporciona es adecuado; por lo tanto, se puede concluir que, de acuerdo al sistema de fotometría mesópica de la CIE, una fuente de luz blanca que proporciona un nivel mesópico equivalente al de un sistema de VSAP que cumple con los valores requeridos, también proporciona un nivel adecuado. El planteamiento anterior se basa en la metodología descrita en el documento *ASSSIST recommends... Outdoor lighting: Visual efficacy*.

Al convertir los niveles de iluminación requeridos a su equivalente mesópico empleando una relación S/P de 0,65, se obtienen valores menores a los valores fotópicos, sin embargo, implicarían el mismo desempeño visual que se requiere actualmente para los sistemas de VSAP. En términos de iluminancia fotópica, con la opción A, los sistemas de VSAP requerirían la misma iluminancia que hasta ahorita, pero los sistemas de luz blanca podrían dar una iluminancia menor a la que se les pide actualmente.

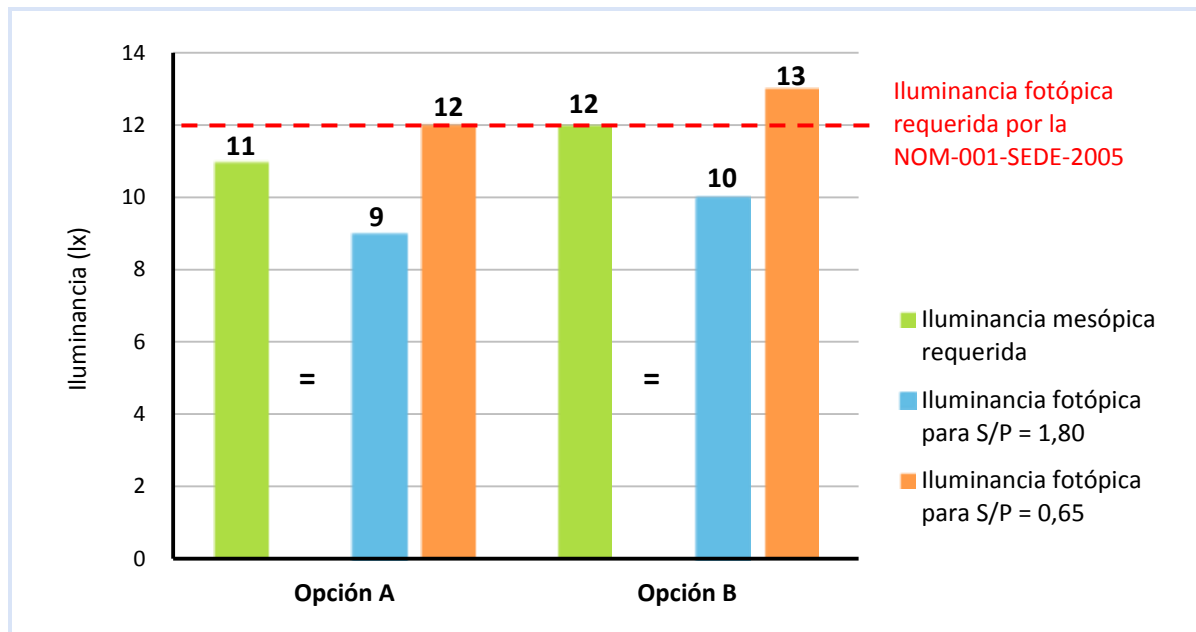
B. Tomar los valores actuales como si fueran valores mesópicos. De esta forma no se necesita hacer alguna conversión, únicamente se debe indicar que los valores requeridos son mesópicos. Esta opción no se basa en alguna metodología o documento, únicamente se consideró conveniente analizarla ya que al aplicarla no parecería que los niveles de iluminación solicitados se reducen, lo cual podría llegar a generar desconfianza.

Al aplicar los niveles de iluminación actuales como si fueran mesópicos, es lo mismo que convertirlos a su equivalente mesópico considerando una relación S/P de 1,00. Con la opción B, en términos de iluminancia fotópica, los sistemas de VSAP requerirían una mayor iluminancia en comparación a la que se les ha pedido hasta el momento, mientras que los sistemas de luz blanca requerirían una iluminancia menor, aunque la reducción sería de menor magnitud a la que se obtendría con la opción A.

La diferencia entre las dos opciones planteadas se puede analizar mediante el siguiente ejemplo: la tabla 930-6(c) de la NOM-001-SEDE-2005 indica que las vías primarias y colectoras con pavimentos tipo R_2 y R_3 deben tener una iluminancia promedio mantenida de 12 lx, en este caso, la forma de aplicar las dos opciones es la siguiente:

Con la opción A, considerando una relación S/P de 0,65, una iluminancia fotópica de 12 lx equivale a una iluminancia mesópica de 11 lx, por lo tanto, de acuerdo a esta opción, este tipo de vialidades requiere una iluminancia mesópica promedio mantenida de 11 lx. De esta manera, por poner un ejemplo, una fuente con una S/P de 1,80 necesita una iluminancia fotópica de 9 lx para proporcionar una iluminancia mesópica equivalente ($E_{MES} = 10,73$ lx); dicho de otra forma, la iluminancia fotópica requerida para la fuente de luz con una S/P de 1,80 se redujo 3 lx, que representa un 25%.

Con la opción B, al tomar el valor de 12 lx como la iluminancia mesópica mantenida promedio para este tipo de vialidades, una fuente con una S/P de 1,80 tendría que dar una iluminancia fotópica de 10 lx para acercarse al valor requerido ($E_{MES} = 11,84$ lx), es decir, se tiene una reducción de 2 lx, que significa un 16,7%. Por otro lado, una fuente con una S/P de 0,65 necesita de una iluminancia fotópica de 13 lx ($E_{MES} = 11,96$ lx), que es 1 lx extra a lo que se le pide actualmente a los sistemas de VSAP, que equivale a un 8,3 %.

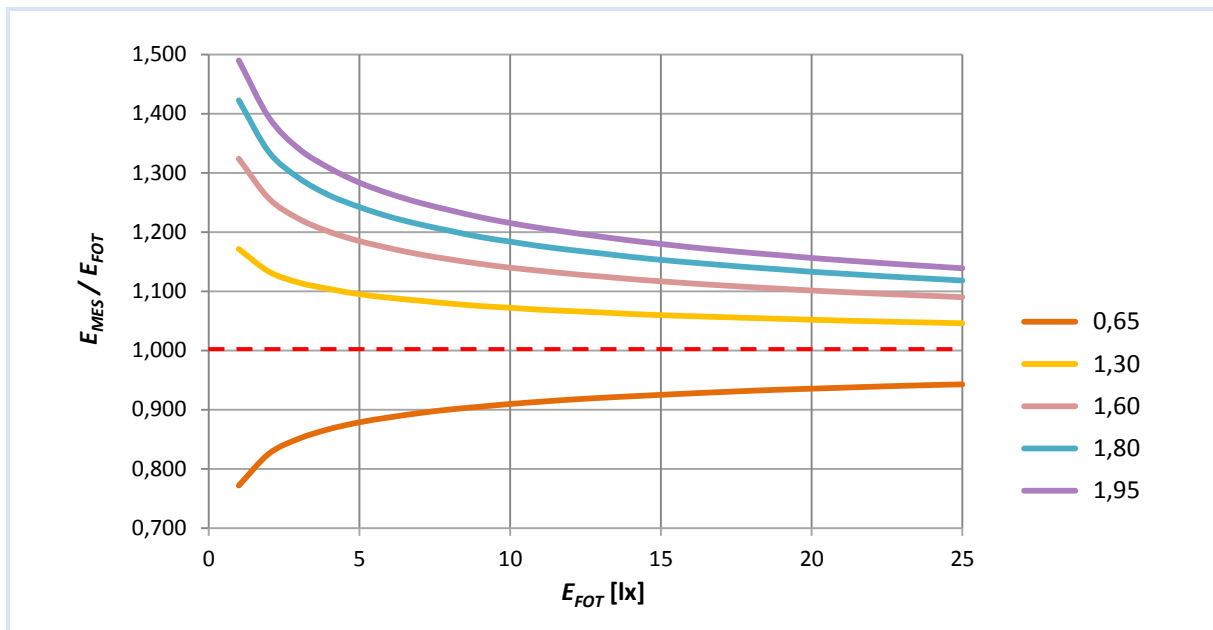


Gráfica 4.1 Comparación entre las dos opciones planteadas para aplicar el sistema de fotometría mesópica de la CIE (considerando un pavimento tipo R_2 y R_3)

Elaboración propia

Como se observa en la Gráfica 4.1, en comparación con la opción B, la opción A reduce en mayor medida la iluminancia fotópica que tendría que proporcionar un sistema que tiene relación S/P de 1,80; por otro lado, la opción B tiene el defecto de incrementar la iluminancia fotópica que debe aportar el sistema con S/P de 0,65 (VSAP).

Lo anterior se puede generalizar al analizar la gráfica que describe la relación entre la iluminancia mesópica (E_{MES}) y la iluminancia fotópica (E_{FOT}), dentro de un intervalo de iluminancia fotópica característico del alumbrado de vialidades:



Gráfica 4.2 Relación entre la iluminancia mesópica y la iluminancia fotópica para diferentes valores de iluminancia fotópica, de acuerdo al sistema de fotometría mesópica de la CIE (considerando un pavimento tipo R₂ y R₃)

Elaboración propia

En la Gráfica 4.2, la reducción de iluminancia fotópica que permite la opción A puede ser representada por el espacio que existe entre la curva de la relación S/P de 0,65 y cada una de las curvas con una relación S/P mayor a 1,00. Por otro lado, en la opción B, se representa con el espacio entre la línea recta de valor $E_{MES}/E_{FOT} = 1,000$ y las curvas de relación S/P que están por encima de dicha línea; en esta opción, la relación S/P de 0,65 no admite un reducción de la iluminancia fotópica sino que requiere de un incremento, lo cual implicaría afirmar que varios de los sistemas de VSAP actualmente instalados no proporcionan un nivel de iluminación adecuado. Como se puede observar, en todo el intervalo de interés, la opción A permite una mayor reducción de la iluminancia fotópica requerida para fuentes de luz con una relación S/P mayor a 1,000 –fuentes de luz blanca– en comparación con la opción B.

Con base en el análisis anterior, se decidió emplear la opción A para expresar los niveles de iluminación de la presente propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 en términos mesópicos. Esta opción permite incrementar en mayor medida la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de vialidades cuando se emplean fuentes de luz blanca, asimismo no perjudica a los sistemas de vapor de sodio alta presión al no elevar los niveles de iluminación con los que tienen que cumplir actualmente.

Al emplear la relación S/P de 0,65 para convertir los valores de iluminancia especificados en la NOM-001-SEDE-2005 a su equivalente mesópico, se obtiene lo siguiente:

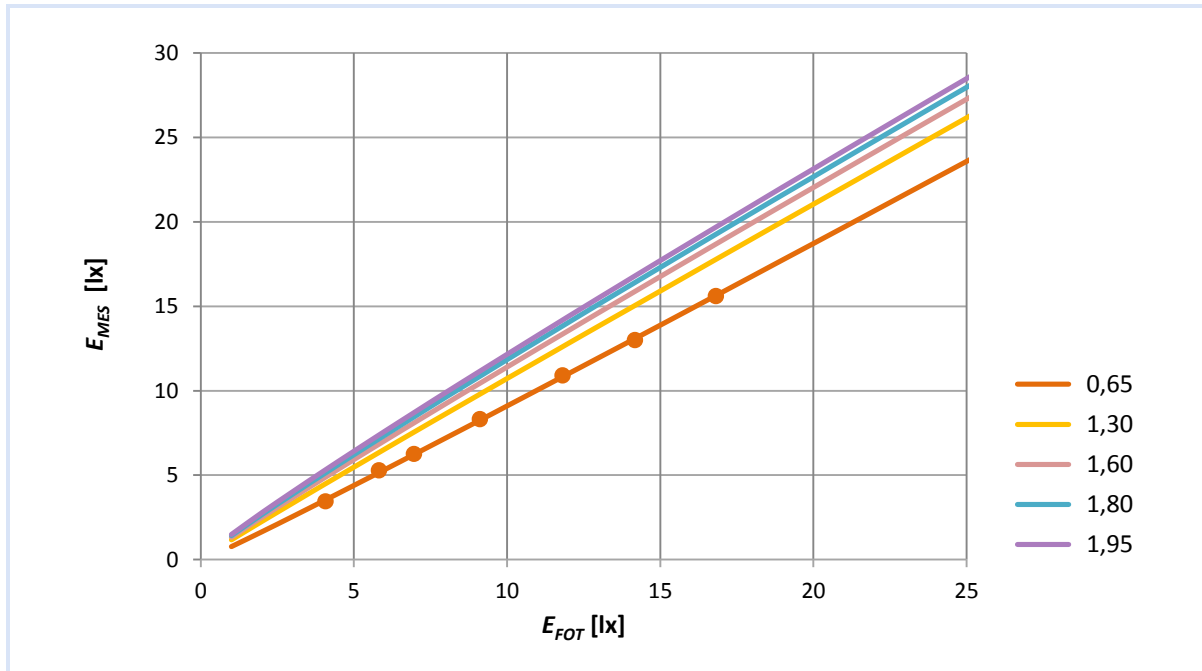
Tabla 4.7 Valores de iluminancia mesópica promedio mantenida equivalentes a los valores especificados en la NOM-001-SEDE-2005 considerando una relación S/P de 0,65

Clasificación de vialidades	NOM-001-SEDE-2005			Propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004		
	Iluminancia fotópica [lx]			Iluminancia mesópica [lx]		
	R ₁	R ₂ y R ₃	R ₄	R ₁	R ₂ y R ₃	R ₄
Autopistas y carreteras	4	6	5	3,54	5,32	4,43
Vías de acceso controlado y vías rápidas	10	14	13	9,24	12,92	12,02
Vías principales y ejes viales	12	17	15	11,16	15,81	13,95
Vías primarias y colectoras	8	12	10	7,32	11,00	9,15
Vías secundaria residencial Tipo A	6	9	8	5,42	8,15	7,25
Vías secundaria residencial Tipo B	5	7	6	4,48	6,26	5,36
Vías secundaria industrial Tipo C	3	4	4	2,61	3,47	3,50

El uso de los valores de iluminancia mesópica indicados en la tabla anterior, implica que entre mayor sea la relación S/P de una fuente de luz, menor es el nivel de iluminancia fotópica que necesita para cumplir con los niveles requeridos –siempre y cuando sea una relación S/P mayor a 0,65–.

Lo anterior se ilustra en la Gráfica 4.3, que muestra la relación directa entre la iluminancia fotópica y la iluminancia mesópica para un tipo de pavimento R₂ y R₃. En esta gráfica, los niveles de iluminancia mesópica requeridos se encuentran sobre la curva correspondiente a la relación S/P de 0,65; se observa que las fuentes de luz con una relación S/P mayor a 0,65 pueden obtener los mismos valores de iluminancia mesópica pero con una iluminancia fotópica menor.

Aunque en la Gráfica 4.3 parece que la relación entre la iluminancia fotópica y la iluminancia mesópica está descrita por líneas rectas cuya pendiente es mayor conforme aumenta la relación S/P, en realidad son líneas curvas que convergen en un valor de iluminancia fotópica poco mayor a 220 lx, equivalente a 5 cd/m², que es el límite superior del sistema de fotometría mesópica de la CIE en el que comienza el intervalo que corresponde a la función fotópica.



Gráfica 4.3 Relación entre la iluminancia fotópica y la iluminancia mesópica, de acuerdo al sistema de fotometría mesópica de la CIE (considerando un pavimento tipo R₂ y R₃)

Elaboración propia

De la misma forma, en la propuesta de actualización, también se convierten los valores de iluminancia promedio horizontal especificados para andadores en la tabla 930-6(c) de la NOM-001-SEDE-2005; no obstante, esta tesis no realiza un análisis de estos valores y cabe mencionar que no coinciden con los de la norma ANSI/IES RP-8-00. Ya que la mayoría de las aceras están hechas de concreto, para fines prácticos, se propone realizar la conversión empleando la reflectancia de un pavimento tipo R₁; aunque es cierto que existen otros tipos de pisos, resulta impráctico generar una tabla con todos los valores de reflectancias para aceras y sus respectivas tablas de conversión a niveles mesópicos.

Por otro lado, en los documentos consultados sobre sistemas de fotometría mesópica, se utilizan las cd/m² como unidad de la luminancia mesópica; no obstante, de acuerdo al estándar ISO 23539:2005(E) / CIE S 010/E:2004 *Photometry – The CIE System of Physical Photometry*, el sistema de fotometría que se reconoce internacionalmente está definido en términos de la

función fotópica y la función escotópica, en conjunto con la unidad base de la fotometría de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades, que es la candela. En este sentido, decir que la unidad de la iluminancia mesópica es el lux, puede contravenir lo establecido en algunas normas, ya que propiamente esta unidad se deriva del sistema de fotometría actual, el cual todavía no incluye las consideraciones del sistema de fotometría mesópica de la CIE.

Considerando lo anterior, y con la finalidad de diferenciar los valores de iluminancia mesópica y de iluminancia fotópica, se decidió que en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, la unidad de la iluminancia mesópica (E_{MES}) sea denominada como lux mesópico (lx_{mes}). Si posteriormente el sistema de fotometría mesópica de la CIE se incluye en el sistema de fotometría que se reconoce como estándar internacional, se podrá cambiar a la unidad que se aplique –que seguramente seguirá siendo el lux, pero definido a partir de tres funciones, cada una en un intervalo diferente–.

Una situación similar sucede con el concepto de iluminancia fotópica, ya que en la práctica y en la normatividad nacional –así como en la norma ANSI/IES RP-8-00–, a este concepto se le denomina únicamente como iluminancia. Debido a esto, se optó porque en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 se utilice el término de iluminancia (E_v) y no el de iluminancia fotópica, no obstante, es necesario que en alguna definición se mencione que el término iluminancia hace referencia a la iluminancia fotópica.

En la propuesta de actualización se emplea el concepto de nivel mantenido de iluminancia mesópica promedio, que es el nivel mesópico con el que se debe cumplir en cualquier momento, independientemente del número de horas de vida de los equipos. Además de la verificación inicial estimando el nivel mantenido como se indica en el método de prueba (con una DFL a las 12 000 horas y un factor de ensuciamiento mínimo de 0,90), es recomendable que las unidades verificadoras tengan la facultad de supervisar el cumplimiento de los niveles de iluminación aún después de la verificación inicial, por ejemplo dos o tres años después; en este caso, los niveles se deberán evaluar con el nivel de iluminancia mesópica promedio –sin depreciación–.

IV.3.3.2 Simulaciones realizadas

Para definir los valores de DPEA aplicables al alumbrado de vialidades, es imprescindible conocer los valores que se pueden obtener con los equipos disponibles para esta aplicación, tomando en cuenta el método de prueba de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004.

Realizar pruebas en campo no es factible, ya que se requeriría tener un espacio donde realizar las mediciones, contar con los equipos de medición, los medios para colocar y quitar los distintos

luminarios, además de tener una gran cantidad de luminarios de diferentes tecnologías. Cabe mencionar que el gobierno de la Ciudad de México cuenta un laboratorio con la infraestructura y equipos necesarios, sin embargo los servicios que ofrece tienen un costo determinado.

Considerando lo anterior, se llegó a la conclusión de que lo mejor era realizar una cantidad significativa de simulaciones mediante un programa de cómputo especializado. El programa seleccionado fue DIALux, cuya versión completa es de uso gratuito, y que es financiado por fabricantes de equipos de iluminación a nivel mundial; este programa puede ser descargado desde la página <http://www.dial.de/DIAL/es/dialux.html>. Al igual que otros programas como AGI32 o Visual, el DIALux permite calcular niveles de iluminación –luminancia e iluminancia– punto por punto empleando las curvas fotométricas de los luminarios en formato *.IES.

Debido a la gran variedad de equipos existentes de cada tecnología –distintas marcas, modelos, potencias y curvas fotométricas–, así como a las diferentes formas en que pueden ser instalados –variando distancia interpostal, ancho de calle, altura de montaje, largo de brazo, inclinación y distribución de los luminarios en la vialidad–, resulta imposible e impráctico simular todos los casos posibles que se pueden tener en la práctica; en este sentido, para tener una idea aproximada de los valores de DPEA que se pueden obtener, se realizaron una cantidad importante de simulaciones bajo las siguientes consideraciones:

- Casos simulados. Sabiendo que es imposible simular cada uno de los casos que se pueden tener en la práctica, se seleccionaron 9 casos diferentes, cada uno con una distribución unilateral, con dimensiones típicas del alumbrado de vialidades:

Tabla 4.8 Características generales de cada caso simulado

Caso	Dimensiones de la vialidad		Posición del luminario			Número de simulaciones	
	Ancho de calle [m]	Distancia interpostal [m]	Altura de montaje [m]	Distancia a la acera [m]	Inclinación del luminario [°]		
Caso 1	7,5	30	7,5	1	0	34	66
Caso 2		40	10	1	0	32	
Caso 3	9	30	7,5	1,5	0	39	139
Caso 4		30	9	1,5	0	52	
Caso 5		40	11	1,5	0	48	
Caso 6	10,5	30	9	1,5	0	43	82
Caso 7		40	11	1,5	0	39	
Caso 8	12	30	11	1,5	0	43	85
Caso 9		40	11	1,5	0	42	

Como se puede observar, los casos seleccionados se pueden dividir en cuatro anchos de calle: 7,5, 9, 10,5 y 12 m, los cuales coinciden con los anchos de calle definidos en la tabla de DPEA de la NOM-013-ENER-2004; lo anterior tiene la intención de poder comparar directamente los valores de dicha norma con los obtenidos valores obtenidos en las simulaciones.

En total se realizaron 372 simulaciones; el número de simulaciones para cada caso es diferente ya que no en todos los casos se pueden aplicar las mismas potencias y los mismos luminarios –con las mismas curvas–, con el fin de obtener niveles adecuados.

Variar el ángulo de inclinación y/o la distancia desde la acera de algunos luminarios, puede ayudar a mejorar el nivel de iluminación y la uniformidad; no obstante estos parámetros se mantuvieron constantes para cada caso, con el objetivo de comparar imparcialmente los resultados que se obtienen con cada tecnología y además, dejar un margen en los valores obtenidos, es decir que, en algunos casos, se pueden obtener mejores resultados modificando alguno de los dos parámetros.

- Tecnologías utilizadas. En las simulaciones de cada caso se emplearon luminarios de VSAP, VSAP optimizado, VAM, VAM arranque por pulso, VAM cerámico, inducción y LEDs, que son las tecnologías que se promueven actualmente para el alumbrado de vialidades. La siguiente tabla muestra las marcas y la cantidad de luminarios –con distinta curva fotométrica– por tecnología que se emplearon en las simulaciones:

Tabla 4.9 Marcas y cantidad de luminarios por tecnología empleados en las simulaciones

Tecnología	Marcas	Cantidad de luminarios		Potencias [W]
VSAP	American Electric	6	11	70, 100, 150, 250
	Cooper Lighting	5		100, 150, 250
VSAP Opt	Philips	9	9	70, 100, 150
VAM	American Electric	7	8	100, 150, 175, 250
	Cooper Lighting	1		175
VAM PS	Cooper Lighting	2	6	150
	GE	4		100, 250
VAM C	Philips	18	18	60, 90, 140
Inducción	Everlast Induction Lighting	12	12	40, 55, 70, 80, 100, 120, 150
LEDs	Elumen	9	25	33, 50, 66, 100, 150
	GE	7		52, 65, 80, 95, 115, 127, 157
	LED Roadway Lighting	9		22, 28, 43, 55, 65, 86, 110, 143, 175

El objetivo de simular luminarios de cada tecnología fue conocer los intervalos de eficiencia energética –en función de la DPEA y los lx_{mes}/W – que se pueden obtener actualmente con cada una, y con base en un análisis de dichos datos, definir los valores de DPEA de la propuesta de actualización.

- Marcas y modelos por tecnología. Se buscó que las simulaciones incluyeran al menos 2 marcas de luminarios por cada tecnología, no obstante en los casos de VSAP optimizado, VAM cerámico e inducción fue difícil encontrar curvas fotométricas de otros fabricantes en su correspondiente formato *.IES; para cada marca se emplearon diferentes modelos y potencias como se muestra en la Tabla 4.9. Todas las curvas fotométricas empleadas en las simulaciones fueron descargadas entre noviembre de 2011 y febrero de 2012 de los respectivos sitios de cada fabricante.

En las tecnologías de HID, las marcas seleccionadas son de fabricantes reconocidos con presencia en el mercado desde hace muchos años. En los casos de inducción y LEDs, aunque los fabricantes no son tan conocidos en México, con excepción de GE, se buscó que fueran fabricantes que proporcionaran la información técnica de sus respectivos equipos y que tuvieran ciertas certificaciones. Es importante destacar que los luminarios de GE y LED Roadway Lightng, fueron reconocidos en la categoría de alumbrado de vialidades en la edición 2009 del concurso *The Next Generation Luminaires: Solid-State Lighting Design Competition*, organizado por el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) en conjunto con la Sociedad de Ingenieros de Iluminación (IES) y la Asociación Internacional de Diseñadores en Iluminación (IALD); especialmente el luminario de GE obtuvo el premio al mejor luminario en su clase.

- Selección de luminarios. La selección de los luminarios de cada tecnología para realizar las simulaciones de cada caso, se basó en dos criterios principalmente: la potencia de los equipos y su curva fotométrica.

Tomando como base los sistemas de VSAP y VAM, en los casos con una altura de 7,5 m se emplearon potencias 70 a 100 W, ya que no se encontraron curvas de potencias menores y los niveles de iluminación que se alcanzan con potencias mayores son mucho más altos a los requeridos; para las alturas de 9 y 10 m, se utilizaron potencias de 70 a 175 W, mientras que para la altura de 11 m se usaron de 70 a 250 W; para las otras tecnologías, bajo el supuesto de que tienen una mejor eficiencia energética, las potencias que se emplearon se encontraron en valores más bajos.

En todos los casos, las curvas fotométricas que se utilizaron de cada fabricante fueron tipo II y tipo III, tanto cortas como medias, y con cortes de haz vertical de non-cutoff a

full-cutoff³. En el caso de VSAP optimizado, VAM cerámico y algunos LEDS, los fabricantes usan una designación propia para diferenciar sus diferentes curvas; por ejemplo, en el caso de VAM cerámico de Philips, la curva P1 es una curva muy abierta a lo ancho de la calle y cerrada a lo largo, mientras que la curva P10 es exactamente lo contrario; otro ejemplo son los luminarios de LEDS elumen, que tienen la capacidad de abrir sus “alas” un cierto ángulo para lograr un mayor alcance a lo largo de la calle, razón por la que tienen curvas para cada ángulo de apertura.

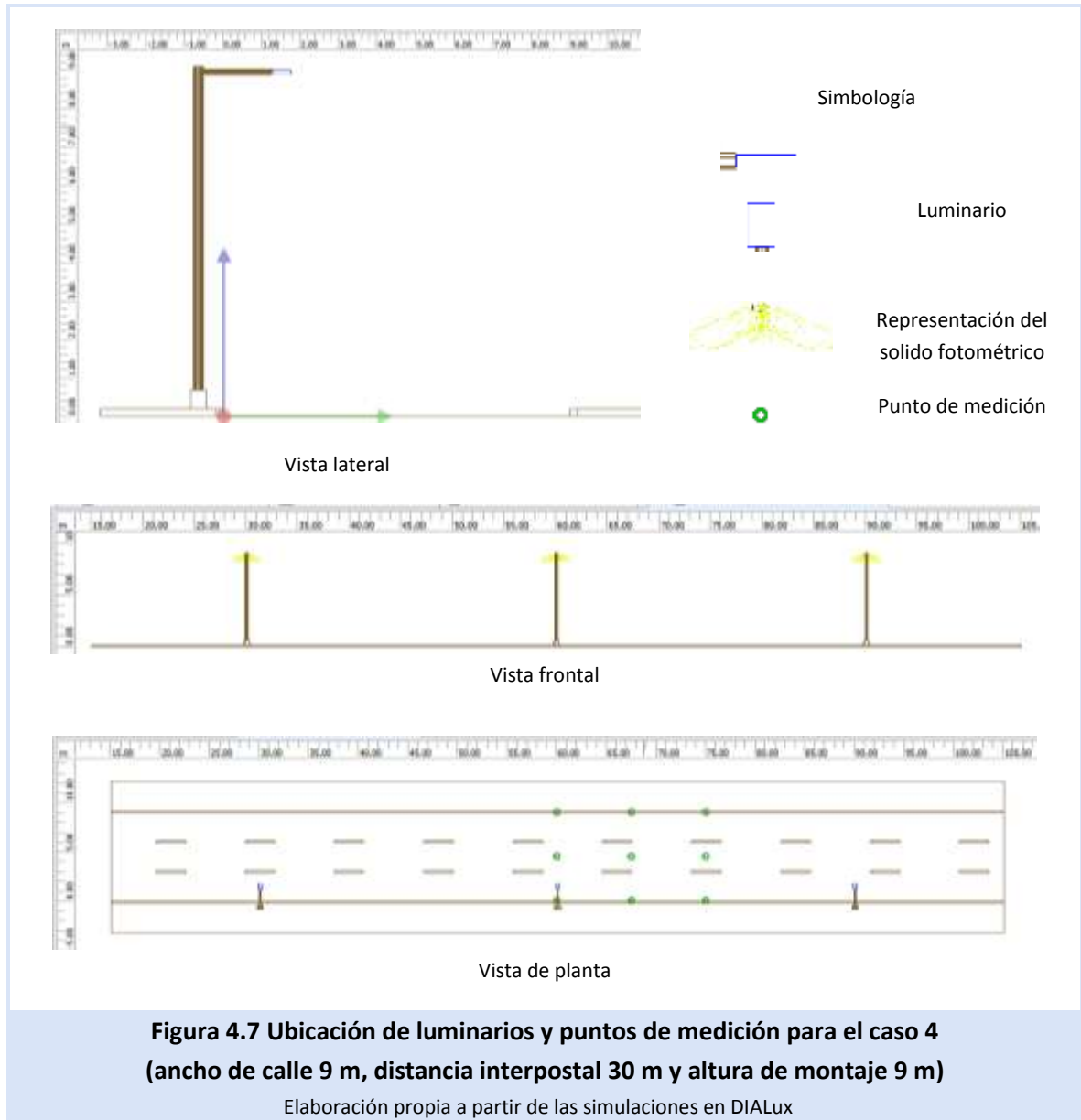
En general, al realizar las simulaciones, fue necesario evaluar el comportamiento de cada curva, con el fin de seleccionar para cada caso, solo los luminarios de cada tecnología que permitían obtener un buen resultado, es decir, un nivel de iluminación adecuado con una potencia razonable; cabe mencionar que en algunos casos, dos o más luminarios de una misma tecnología, aun siendo de distinta marca o teniendo una curva diferente, proporcionaban resultados similares en cuanto al nivel de iluminación. En este sentido, la evaluación de los resultados de cada simulación se realizó analizando visualmente el modelo 3D en colores falsos generado por DIALux⁴, así como los valores resultantes de las relaciones de uniformidad y el nivel de iluminancia promedio.

- Cálculos realizados. Todos los cálculos se realizaron siguiendo las consideraciones mencionadas para el método de prueba propuesto, con el objetivo de verificar los valores de DPEA que se pueden obtener aplicando dicho método; en otras palabras si se usara una metodología diferente para obtener los valores, no se tendría la certeza de que al aplicar el método de prueba propuesto se pudiera cumplir con los mismos.

En la simulación, se colocaron tres luminarios y en medio de dos de ellos, se insertaron los nueve puntos de medición en los lugares correspondientes, de acuerdo al método de prueba propuesto, tal como se observa en la Figura 4.7 que muestra la ubicación de los luminarios y puntos de medición en DIALux para uno de los casos simulados.

³ Las curvas fotométricas de los luminarios para alumbrado vialidades se clasifican de acuerdo con la distribución que tiene su flujo luminoso a lo largo y ancho de la calle; considerando el alcance a largo de la calle, las curvas se clasifican en corta (S), media (M) y larga (L); considerando el ancho de la calle se clasifican en tipo I, II, III y IV, donde la curva tipo I es la que tiene el alcance mínimo y la tipo IV es la que tiene el alcance máximo. Asimismo, por el porcentaje de luz que envían a diferentes ángulos del plano vertical –la cual puede ocasionar deslumbramiento y contaminación lumínica–, las curvas se clasifican en non-cutoff, semi-cutoff, cutoff y full cutoff, en donde lo ideal es tener curvas cutoff a full cutoff para tener una mayor CU y evitar la contaminación lumínica del cielo. Cabe mencionar que en años recientes ha surgido una nueva clasificación denominada BUG, la cual establece rangos para la proporción de luz que se envía hacia atrás (Backlight), hacia arriba (Uplight), así como la que contribuyen en el deslumbramiento (Glare).

⁴ DIALux tiene la opción de mostrar un modelo 3D de colores falsos donde muestra la distribución de la luz en el espacio de interés, en el que a cada intervalo de luminancia o iluminancia le corresponde un color diferente.



Para cada simulación se obtuvieron los valores de iluminancia en los 9 puntos sin aplicar algún factor de depreciación; posteriormente los datos fueron reportados en una hoja de cálculo en la que se programaron las operaciones necesarias para obtener el factor de pérdida de luz, iluminancia fotópica promedio inicial y a las 12 000 horas, iluminancia mesópica promedio inicial y las 12 000 horas, relaciones de uniformidad, DPEA y el valor de $I_{x_{mes}}/W$ a las 12 000 horas. Debido a que la conversión a iluminancia mesópica depende de la reflectancia, se elaboraron tablas para R_1 , R_2 y R_3 , así como R_4 .

Las potencias empleadas para los luminarios de VSAP, VAM y VAM PS se seleccionaron considerando las potencias de varios balastos cuyos datos se incluyen en el Anexo E;

mientras que las potencias de los luminarios de VSAP optimizado, VAM cerámico, inducción y LEDs son las que aparecen reportadas en la ficha técnica del propio equipo.

Los resultados de todas las simulaciones se incluyen en el Anexo F. Adicionalmente para cada simulación se generó, a partir de DIALux, un reporte en PDF que consta de 6 páginas que incluye la información sobre el luminario empleado, ubicación de los luminarios y puntos de medición, valor de iluminancia en los nueve puntos, así como los modelos 3D en vista estándar y colores falsos; estos reportes no se incluyen en el presente documento debido a la gran cantidad de hojas que se requerirían, no obstante el Anexo G contiene uno de estos reportes.

IV.3.3.3 Relaciones de uniformidad

Las relaciones de uniformidad para vialidades especificadas en la NOM-001-SEDE-2005 están basadas en la norma ANSI/IES RP-8-00. En ambas normas, cuando se evalúan los niveles de iluminación con el criterio de luminancia, se especifican los valores máximos de dos relaciones de uniformidad: luminancia promedio entre luminancia mínima (L_{prom}/L_{min}) y luminancia máxima entre luminancia mínima (L_{max}/L_{min}); cuando se utiliza el criterio de iluminancia solo se especifica el valor de la relación iluminancia promedio entre iluminancia mínima (E_{prom}/E_{min}), y además se especifica el valor de la relación de la luminancia de deslumbramiento (L_d/L_{prom}).

En este sentido, esta tesis no pretende revisar los valores requeridos de las relaciones de uniformidad. No obstante, como en la propuesta las especificaciones y el método de prueba se plantean en función del criterio de iluminancia, resulta contradictorio solicitar un valor para la relación de la luminancia de deslumbramiento; ya que eso requeriría definir un método para obtener la luminancia promedio, así como solicitar a las unidades verificadoras contar con un nitómetro –instrumento para medir luminancia–; por lo anterior, la presente propuesta no especifica un valor para esta relación, sin embargo, se reconoce que es muy importante evaluar el nivel de deslumbramiento, ya que un nivel excesivo puede llegar a afectar el desempeño visual.

Por otro lado, se propone que se especifique un valor máximo para la relación iluminancia máxima entre iluminancia mínima (E_{max}/E_{min}); aunque estrictamente esta relación no se especifica en la norma ANSI/IES RP-8-00, limitar su valor también ayuda a tener una iluminancia más uniforme en el pavimento; en este sentido, sabiendo que se puede establecer una correspondencia directa entre la luminancia y la iluminancia, los valores máximos propuestos para esta relación son los mismos que se especifican en el criterio de luminancia para la relación L_{max}/L_{min} . Como se dijo anteriormente, una tercera relación de uniformidad no es necesaria ya que al establecer los límites de dos relaciones, también se establece el límite de la tercera.

De esta forma, los valores máximos de las relaciones de uniformidad requeridos en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 son los siguientes:

Tabla 4.10 Valores máximos propuestos para las relaciones de uniformidad

Clasificación de vialidades	NOM-001-SEDE-2005			Propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004	
	Relaciones de Uniformidad			Relaciones de Uniformidad	
	Luminancia		Iluminancia	Iluminancia	
	Prom / Min	Max /Min	Prom / Min	Prom / Min	Max /Min
Autopistas y carreteras	3,5 a 1	6 a 1	3 a 1	3,5	6
Vías de acceso controlado y vías rápidas	3 a 1	5 a 1	3 a 1	3	5
Vías principales y ejes viales	3 a 1	5 a 1	3 a 1	3	5
Vías primarias y colectoras	3 a 1	5 a 1	4 a 1	3	5
Vías secundaria residencial Tipo A	6 a 1	10 a 1	6 a 1	6	10
Vías secundaria residencial Tipo B	6 a 1	10 a 1	6 a 1	6	10
Vías secundaria industrial Tipo C	6 a 1	10 a 1	6 a 1	6	10

En las simulaciones se encontraron los siguientes valores para las relaciones de uniformidad, calculándolos a partir de los valores iluminancia fotópica de los nueve puntos de medición:

Tabla 4.11 Relaciones de uniformidad obtenidas en las simulaciones

Tecnología	Relaciones de Uniformidad					
	Prom / Min			Max / Min		
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Vapor de sodio de alta presión	1,6	4,2	2,9	2,6	10,0	5,9
Vapor de sodio de alta presión optimizado	2,0	3,5	2,7	3,6	8,9	6,1
Vapor de aditivos metálicos	1,7	3,5	2,7	2,9	9,2	5,7
Vapor de aditivos metálicos de arranque por pulso	1,8	3,7	2,5	2,6	8,6	5,6
Vapor de aditivos metálicos cerámicos	2,1	4,6	3,1	3,9	9,8	5,7
Inducción	2,3	4,1	2,7	3,6	9,3	5,4
LEDs	2,0	6,4	3,4	2,7	10,7	6,6

En simulaciones que se realizaron, no se analizó el cumplimiento las relaciones de uniformidad, ya que es difícil establecer una correspondencia directa de acuerdo al tipo de vialidad; en otras palabras, a un mismo valor de relación de uniformidad se le pueden asignar distintos tipos de vialidad, además, la asociación de acuerdo a las relaciones de uniformidad puede no coincidir con la asociación de acuerdo al nivel de iluminación.

Como se observa en la Tabla 4.11, sin establecer una relación directa con un tipo de vialidad en específico, los valores obtenidos en las simulaciones están dentro de los límites propuestos en la Tabla 4.10. En el caso de la relación E_{prom}/E_{min} el valor mínimo fue 1,6, el máximo 6,4 y el promedio de todas las tecnologías estuvo entre 2,5 y 3,4; para la relación E_{max}/E_{min} el valor mínimo fue 2,6, el máximo 10,7 y el promedio resultó entre 5,4 y 6,6. Independientemente del nivel de iluminación obtenido en cada simulación, estos valores ayudan a confirmar que los luminarios que se utilizaron en cada caso fueron los adecuados.

De acuerdo a la Tabla 4.3, la diferencia promedio encontrada entre el método de medición de la IES y el método de los nueve puntos para la relación E_{prom}/E_{min} fue de 10,9%, mientras que para la relación E_{max}/E_{min} fue de 10,3%. Considerando lo anterior, se decidió que en la propuesta de actualización se permitiera una tolerancia del 10% sobre los valores máximos permitidos para las relaciones de uniformidad especificadas.

IV.3.3.4 Densidad de potencia eléctrica para alumbrado

Anteriormente se mencionó que la forma de aplicar los valores de DPEA que se definen en la NOM-013-ENER-2004 puede parecer confusa a primera vista.

Por una parte, al analizar la tabla 1 de la NOM-013-ENER-2004, se observa que a cada nivel de iluminancia le corresponde un valor de DPEA máximo en función del ancho de calle. Sin embargo, una nota debajo de la tabla indica que el nivel de iluminación a utilizar depende del tipo de vialidad a iluminar de acuerdo con lo establecido en el Artículo 930 de la NOM-001-SEDE; en otras palabras, al considerar lo indicado en la nota, a cada tipo de vialidad le corresponde un valor máximo de DPEA dependiendo del ancho de calle.

Para evitar que exista este problema, lo mejor sería que la tabla en la que se definen los valores de DPEA estuviera construida de una manera distinta. Particularmente, para cada tipo de vialidad debería especificarse el valor máximo de DPEA en función del ancho de calle, además de que cada tipo de pavimento debería tener diferentes valores de DPEA, ya que cada uno requiere niveles de iluminación diferentes; la Tabla 4.12 está elaborada tomando los mismos valores especificados en la NOM-013-ENER-2004, pero considerando las ideas anteriores.

Tabla 4.12 Valores máximos de DPEA para cada tipo vialidad con base en la NOM-013-ENER-2004 y la NOM-001-SEDE-2005

Clasificación de vialidades	R ₁				R ₂ y R ₃				R ₄			
	Ancho de calle [m]											
	7,5	9	10,5	12	7,5	9	10,5	12	7,5	9	10,5	12
Autopistas y carreteras	0,32	0,28	0,26	0,23	0,41	0,38	0,35	0,31	0,35	0,33	0,30	0,28
Vías de acceso controlado y vías rápidas	0,71	0,66	0,61	0,56	1,01	0,95	0,86	0,81	0,94	0,87	0,80	0,75
Vías principales y ejes viales	0,86	0,81	0,74	0,69	1,17	1,12	1,03	0,97	1,06	1,00	0,93	0,87
Vías primarias y colectoras	0,56	0,52	0,48	0,44	0,86	0,81	0,74	0,69	0,71	0,66	0,61	0,56
Vías secundaria residencial Tipo A	0,41	0,38	0,35	0,31	0,64	0,59	0,54	0,50	0,56	0,52	0,48	0,44
Vías secundaria residencial Tipo B	0,35	0,33	0,30	0,28	0,49	0,45	0,42	0,37	0,41	0,38	0,35	0,31
Vías secundaria industrial Tipo C	0,26	0,23	0,19	0,17	0,32	0,28	0,26	0,23	0,32	0,28	0,26	0,23

A partir de la Tabla 4.12, es más fácil notar que el alumbrado de vialidades no debe exceder ciertos valores de DPEA en función del tipo de vialidad a iluminar, el tipo de pavimento de la instalación y el ancho de calle. Considerando los valores de reflectancia para cada tipo de pavimento, se puede observar que entre mayor sea la reflectancia, menor es la DPEA máxima permitida; asimismo, entre mayor es el ancho de calle el valor de DPEA permitido es menor.

Para conocer los valores de DPEA que se pueden obtener con las tecnologías disponibles para el alumbrado de vialidades, empleando el sistema de fotometría mesópica conforme al método de prueba propuesto, se realizó un análisis que consistió en clasificar cada simulación de acuerdo al nivel de iluminancia mesópica promedio a las 12 000 horas, el tipo de pavimento y el ancho de calle.

Tomando como base los niveles mantenidos de iluminancia mesópica promedio definidos en la Tabla 4.7, se establecieron intervalos de iluminancia para cada tipo de vialidad, de manera que el valor mínimo requerido correspondiente fuese el límite inferior, y el límite superior fuese el valor inmediato superior requerido para alguna otra vialidad; de esta forma cada simulación –y su respectivo valor de DPEA– se incluyó en un solo intervalo, y se relacionó a su vez, con un solo tipo de vialidad. Las Tablas 4.13, 4.14 y 4.15 muestran los valores de DPEA mínimo y máximo que se obtuvieron con cada tecnología y en general.

Tabla 4.13 Valores mínimos y máximos de DPEA obtenidos en las simulaciones para R₁

Clasificación de vialidades	Iluminancia mesópica promedio mantenida [lx_{mes}]	Intervalo de iluminancia mesópica a las 12 000 horas [lx_{mes}]	Intervalo de DPEA [W/m^2]																Valor propuesto		
			VSAP		VAM		VAM PS		VSAP Opt		VAM C		Inducción		LEDs		General			VSAP Opt, VAM C, Inducción y LEDs	
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max		Min	Max
Ancho de calle 7,5 m																					
Vías secundaria industrial Tipo C	2,61	2,61 ≤ E < 3,54	0,29	0,29	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,15	0,15	0,07	0,12	0,07	0,29	0,07	0,15	0,20
Autopistas y carreteras	3,54	3,54 ≤ E < 4,48	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,09	0,18	0,09	0,18	0,09	0,18	0,24
Vías secundaria residencial Tipo B	4,48	4,48 ≤ E < 5,42	s.d.	s.d.	0,40	0,40	0,40	0,40	0,27	0,27	s.d.	s.d.	0,20	0,20	0,17	0,17	0,17	0,40	0,17	0,27	0,28
Vías secundaria residencial Tipo A	5,42	5,42 ≤ E < 7,32	0,39	0,39	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,22	0,22	0,26	0,30	0,10	0,24	0,10	0,39	0,10	0,30	0,34
Vías primarias y colectoras	7,32	7,32 ≤ E < 9,24	0,42	0,42	0,53	0,53	0,53	0,53	0,36	0,38	0,29	0,33	0,35	0,45	0,22	0,35	0,22	0,53	0,22	0,45	0,42
Vías acceso controlado y vías rápidas	9,24	9,24 ≤ E < 11,16	0,56	0,56	s.d.	s.d.	0,53	0,58	0,36	0,36	s.d.	s.d.	0,40	0,55	0,19	0,38	0,19	0,58	0,19	0,55	0,50
Vías principales y ejes viales	11,16*	E ≥ 11,16*	0,56	0,57	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,51	0,51	0,44	0,44	0,49	0,49	0,29	0,46	0,29	0,57	0,29	0,51	0,58
Ancho de calle 9 m																					
Vías secundaria industrial Tipo C	2,61	2,61 ≤ E < 3,54	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,18
Autopistas y carreteras	3,54	3,54 ≤ E < 4,48	s.d.	s.d.	0,33	0,33	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,17	0,17	0,08	0,15	0,08	0,33	0,08	0,17	0,22
Vías secundaria residencial Tipo B	4,48	4,48 ≤ E < 5,42	0,33	0,35	s.d.	s.d.	0,33	0,33	0,22	0,22	0,18	0,18	0,16	0,16	0,13	0,18	0,13	0,35	0,13	0,22	0,26
Vías secundaria residencial Tipo A	5,42	5,42 ≤ E < 7,32	0,35	0,35	0,44	0,57	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,23	0,31	0,10	0,22	0,10	0,57	0,10	0,31	0,32
Vías primarias y colectoras	7,32	7,32 ≤ E < 9,24	0,35	0,35	0,44	0,81	0,44	0,49	0,30	0,32	0,24	0,27	0,29	0,46	0,16	0,32	0,16	0,81	0,16	0,46	0,39
Vías acceso controlado y vías rápidas	9,24	9,24 ≤ E < 11,16	0,46	0,48	s.d.	s.d.	0,33	0,65	s.d.	s.d.	0,36	0,36	0,33	0,50	0,24	0,43	0,24	0,65	0,24	0,50	0,48
Vías principales y ejes viales	11,16*	E ≥ 11,16*	0,46	0,64	s.d.	s.d.	0,65	0,65	0,42	0,46	0,36	0,43	0,41	0,61	0,31	0,47	0,31	0,65	0,31	0,61	0,52
Ancho de calle 10,5 m																					
Vías secundaria industrial Tipo C	2,61	2,61 ≤ E < 3,54	0,21	0,21	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,21	0,21	s.d.	s.d.	0,16
Autopistas y carreteras	3,54	3,54 ≤ E < 4,48	0,28	0,28	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,19	0,19	s.d.	s.d.	0,14	0,15	0,07	0,13	0,07	0,28	0,07	0,19	0,20
Vías secundaria residencial Tipo B	4,48	4,48 ≤ E < 5,42	s.d.	s.d.	0,29	0,29	0,29	0,29	s.d.	s.d.	0,16	0,16	0,19	0,19	0,12	0,16	0,12	0,29	0,12	0,19	0,24
Vías secundaria residencial Tipo A	5,42	5,42 ≤ E < 7,32	0,30	0,30	0,38	0,38	0,38	0,38	0,25	0,25	0,21	0,21	0,19	0,26	0,10	0,27	0,10	0,38	0,10	0,27	0,27
Vías primarias y colectoras	7,32	7,32 ≤ E < 9,24	0,40	0,40	0,49	0,65	0,38	0,38	0,27	0,27	0,23	0,23	0,29	0,39	0,14	0,27	0,14	0,65	0,14	0,39	0,35
Vías acceso controlado y vías rápidas	9,24	9,24 ≤ E < 11,16	0,41	0,41	0,69	0,69	0,42	0,42	s.d.	s.d.	0,31	0,31	0,35	0,43	0,20	0,37	0,20	0,69	0,20	0,43	0,44
Vías principales y ejes viales	11,16*	E ≥ 11,16*	0,55	0,55	0,65	0,65	0,56	0,56	0,36	0,40	0,37	0,37	0,52	0,52	0,27	0,40	0,27	0,65	0,27	0,52	0,50
Ancho de calle 12 m																					
Vías secundaria industrial Tipo C	2,61	2,61 ≤ E < 3,54	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,14
Autopistas y carreteras	3,54	3,54 ≤ E < 4,48	0,24	0,24	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,17	0,17	0,14	0,14	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,14	0,24	0,14	0,17	0,18
Vías secundaria residencial Tipo B	4,48	4,48 ≤ E < 5,42	s.d.	s.d.	0,36	0,43	0,25	0,25	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,14	0,14	0,14	0,43	0,14	0,14	0,22
Vías secundaria residencial Tipo A	5,42	5,42 ≤ E < 7,32	0,26	0,35	s.d.	s.d.	0,33	0,33	0,22	0,22	0,18	0,21	0,19	0,31	0,11	0,19	0,11	0,35	0,11	0,31	0,25
Vías primarias y colectoras	7,32	7,32 ≤ E < 9,24	s.d.	s.d.	0,57	0,81	0,36	0,49	0,24	0,24	0,27	0,27	0,28	0,37	0,20	0,24	0,20	0,81	0,20	0,37	0,33
Vías acceso controlado y vías rápidas	9,24	9,24 ≤ E < 11,16	0,36	0,48	s.d.	s.d.	0,36	0,36	0,32	0,32	0,32	0,32	0,46	0,46	0,18	0,32	0,18	0,46	0,18	0,46	0,42
Vías principales y ejes viales	11,16*	E ≥ 11,16*	0,36	0,60	s.d.	s.d.	0,49	0,49	0,35	0,46	0,43	0,43	0,46	0,46	0,32	0,44	0,32	0,60	0,32	0,46	0,48

*Se omitieron simulaciones que excedieran este nivel en 40%

Tabla 4.14 Valores mínimos y máximos de DPEA obtenidos en las simulaciones para R₂ y R₃

Clasificación de vialidades	Iluminancia mesópica promedio mantenida (propuesta) [lx _{mes}]	Intervalo de iluminancia mesópica a las 12 000 horas [lx _{mes}]	Intervalo de DPEA [W/m ²]																		Valor propuesto
			VSAP		VAM		VAM PS		VSAP Opt		VAM C		Inducción		LEDs		General		VSAP Opt, VAM C, Inducción y LEDs		
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Ancho de calle 7,5 m																					
Vías secundaria industrial Tipo C	3,47	3,47 <= E < 5,32	s.d.	s.d.	0,40	0,40	0,40	0,40	0,27	0,27	s.d.	s.d.	0,20	0,20	0,09	0,18	0,09	0,40	0,09	0,27	0,24
Autopistas y carreteras	5,32	5,32 <= E < 6,26	0,39	0,39	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,22	0,22	0,26	0,26	0,10	0,23	0,10	0,39	0,10	0,26	0,31
Vías secundaria residencial Tipo B	6,26	6,26 <= E < 8,15	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,27	0,30	0,12	0,24	0,12	0,30	0,12	0,30	0,38
Vías secundaria residencial Tipo A	8,15	8,15 <= E < 11,00	0,42	0,56	0,53	0,53	0,53	0,58	0,36	0,38	0,29	0,33	0,35	0,45	0,19	0,38	0,19	0,58	0,19	0,45	0,47
Vías primarias y colectoras	11,00	11,00 <= E < 12,92	0,56	0,56	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,40	0,55	0,29	0,29	0,29	0,56	0,29	0,55	0,58
Vías acceso controlado y vías rápidas	12,92	12,92 <= E < 15,81	0,56	0,57	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,51	0,51	0,44	0,44	s.d.	s.d.	0,29	0,46	0,29	0,57	0,29	0,51	0,66
Vías principales y ejes viales	15,81*	15,81 <=E	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,78
Ancho de calle 9 m																					
Vías secundaria industrial Tipo C	3,47	3,47 <= E < 5,32	0,33	0,35	0,33	0,33	s.d.	s.d.	0,22	0,22	s.d.	s.d.	0,16	0,17	0,08	0,15	0,08	0,35	0,08	0,22	0,22
Autopistas y carreteras	5,32	5,32 <= E < 6,26	s.d.	s.d.	0,57	0,57	0,33	0,33	s.d.	s.d.	0,18	0,18	0,23	0,23	0,10	0,20	0,10	0,57	0,10	0,23	0,32
Vías secundaria residencial Tipo B	6,26	6,26 <= E < 8,15	0,35	0,35	0,44	0,81	0,44	0,44	0,30	0,30	0,24	0,27	0,23	0,37	0,19	0,22	0,19	0,81	0,19	0,37	0,35
Vías secundaria residencial Tipo A	8,15	8,15 <= E < 11,00	0,46	0,48	0,76	0,77	0,33	0,65	0,30	0,32	s.d.	s.d.	0,29	0,46	0,16	0,39	0,16	0,77	0,16	0,46	0,43
Vías primarias y colectoras	11,00	11,00 <= E < 12,92	0,46	0,48	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,42	0,42	0,36	0,43	0,41	0,50	0,24	0,43	0,24	0,50	0,24	0,50	0,52
Vías acceso controlado y vías rápidas	12,92	12,92 <= E < 15,81	0,46	0,64	s.d.	s.d.	0,65	0,65	0,42	0,46	s.d.	s.d.	0,61	0,61	0,24	0,47	0,24	0,65	0,24	0,61	0,60
Vías principales y ejes viales	15,81*	15,81 <=E	0,79	0,79	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,62	0,62	0,57	0,57	s.d.	s.d.	0,32	0,57	0,32	0,79	0,32	0,62	0,72
Ancho de calle 10,5 m																					
Vías secundaria industrial Tipo C	3,47	3,47 <= E < 5,32	0,21	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,19	0,19	0,16	0,16	0,14	0,19	0,07	0,16	0,07	0,29	0,07	0,19	0,20
Autopistas y carreteras	5,32	5,32 <= E < 6,26	0,30	0,30	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,19	0,21	0,10	0,17	0,10	0,30	0,10	0,21	0,27
Vías secundaria residencial Tipo B	6,26	6,26 <= E < 8,15	s.d.	s.d.	0,38	0,49	0,38	0,49	0,25	0,27	0,21	0,23	0,26	0,32	0,15	0,25	0,15	0,49	0,15	0,32	0,30
Vías secundaria residencial Tipo A	8,15	8,15 <= E < 11,00	0,40	0,41	0,65	0,69	0,65	0,69	s.d.	s.d.	0,31	0,31	0,29	0,39	0,17	0,37	0,17	0,69	0,17	0,39	0,40
Vías primarias y colectoras	11,00	11,00 <= E < 12,92	0,55	0,55	0,65	0,65	0,65	0,65	0,36	0,40	0,37	0,37	0,43	0,43	0,26	0,33	0,26	0,65	0,26	0,43	0,50
Vías acceso controlado y vías rápidas	12,92	12,92 <= E < 15,81	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,52	0,52	0,27	0,40	0,27	0,52	0,27	0,52	0,58
Vías principales y ejes viales	15,81*	15,81 <=E	0,55	0,68	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,53	0,53	0,49	0,49	s.d.	s.d.	0,42	0,49	0,42	0,68	0,42	0,53	0,68
Ancho de calle 12 m																					
Vías secundaria industrial Tipo C	3,47	3,47 <= E < 5,32	0,24	0,24	0,36	0,43	0,25	0,25	0,17	0,17	0,14	0,14	s.d.	s.d.	0,14	0,14	0,14	0,43	0,14	0,17	0,18
Autopistas y carreteras	5,32	5,32 <= E < 6,26	0,26	0,26	0,43	0,49	s.d.	s.d.	0,22	0,22	0,18	0,18	0,19	0,19	0,11	0,14	0,11	0,49	0,11	0,22	0,25
Vías secundaria residencial Tipo B	6,26	6,26 <= E < 8,15	0,35	0,35	0,57	0,60	0,33	0,49	0,24	0,24	0,21	0,21	0,23	0,31	0,12	0,22	0,12	0,60	0,12	0,31	0,28
Vías secundaria residencial Tipo A	8,15	8,15 <= E < 11,00	0,36	0,48	0,81	0,81	0,36	0,36	0,32	0,32	0,27	0,27	0,31	0,46	0,18	0,32	0,18	0,81	0,18	0,46	0,37
Vías primarias y colectoras	11,00	11,00 <= E < 12,92	0,36	0,36	s.d.	s.d.	0,49	0,49	0,35	0,35	0,32	0,32	0,46	0,46	0,24	0,33	0,24	0,49	0,24	0,46	0,48
Vías acceso controlado y vías rápidas	12,92	12,92 <= E < 15,81	0,60	0,60	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,46	0,46	0,43	0,43	s.d.	s.d.	0,31	0,44	0,31	0,60	0,31	0,46	0,55
Vías principales y ejes viales	15,81*	15,81 <=E	0,48	0,79	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,36	0,40	0,36	0,79	0,36	0,40	0,64

*Se omitieron simulaciones que excedieran este nivel en 40%

Tabla 4.15 Valores mínimos y máximos de DPEA obtenidos en las simulaciones para R₄

Clasificación de vialidades	Iluminancia mesópica promedio mantenida (propuesta) [lx _{mes}]	Intervalo de iluminación mesópica a las 12 000 horas [lx _{mes}]	Intervalo de DPEA [W/m ²]																Valor propuesto			
			VSAP		VAM		VAM PS		VSAP Opt		VAM C		Inducción		LEDs		General			VSAP Opt, VAM C, Inducción y LEDs		
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max		Min	Max	Min
Ancho de calle 7,5 m																						
Vías secundaria industrial Tipo C	3,50	3,50 ≤ E < 4,43	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,15	0,15	0,07	0,18	0,07	0,18	0,07	0,18	0,24
Autopistas y carreteras	4,43	4,43 ≤ E < 5,36	s.d.	s.d.	0,40	0,40	0,40	0,40	0,27	0,27	s.d.	s.d.	s.d.	0,20	0,20	0,17	0,17	0,17	0,40	0,17	0,27	0,28
Vías secundaria residencial Tipo B	5,36	5,36 ≤ E < 7,25	0,39	0,39	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,22	0,22	0,26	0,30	0,10	0,24	0,10	0,39	0,10	0,30	0,32
Vías secundaria residencial Tipo A	7,25	7,25 ≤ E < 9,15	0,42	0,42	0,53	0,53	s.d.	s.d.	0,36	0,38	0,29	0,33	0,35	0,45	0,22	0,35	0,22	0,53	0,22	0,45	0,42	
Vías primarias y colectoras	9,15	9,15 ≤ E < 12,02	0,56	0,56	s.d.	s.d.	0,53	0,58	0,36	0,36	s.d.	s.d.	0,40	0,55	0,19	0,38	0,19	0,58	0,19	0,55	0,50	
Vías acceso controlado y vías rápidas	12,02	12,02 ≤ E < 13,95	0,56	0,56	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,44	0,44	0,49	0,49	0,29	0,36	0,29	0,56	0,29	0,49	0,62	
Vías principales y ejes viales	13,95*	13,95 ≤ E	0,56	0,57	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,51	0,51	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,38	0,46	0,38	0,57	0,38	0,51	0,70	
Ancho de calle 9 m																						
Vías secundaria industrial Tipo C	3,50	3,50 ≤ E < 4,43	s.d.	s.d.	0,33	0,33	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,17	0,17	0,08	0,13	0,08	0,33	0,08	0,17	0,22
Autopistas y carreteras	4,43	4,43 ≤ E < 5,36	0,33	0,35	s.d.	s.d.	0,33	0,33	0,22	0,22	s.d.	s.d.	s.d.	0,16	0,16	0,13	0,18	0,13	0,35	0,13	0,22	0,26
Vías secundaria residencial Tipo B	5,36	5,36 ≤ E < 7,25	0,35	0,35	0,44	0,57	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,18	0,18	0,23	0,31	0,10	0,22	0,10	0,57	0,10	0,31	0,30	
Vías secundaria residencial Tipo A	7,25	7,25 ≤ E < 9,15	0,35	0,35	0,44	0,76	0,44	0,44	0,30	0,32	0,24	0,27	0,29	0,41	0,16	0,29	0,16	0,76	0,16	0,41	0,39	
Vías primarias y colectoras	9,15	9,15 ≤ E < 12,02	0,46	0,48	0,76	0,76	0,33	0,65	s.d.	s.d.	0,36	0,36	0,33	0,50	0,20	0,43	0,20	0,76	0,20	0,50	0,48	
Vías acceso controlado y vías rápidas	12,02	12,02 ≤ E < 13,95	0,46	0,48	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,42	0,42	0,36	0,43	0,41	0,61	0,24	0,43	0,24	0,61	0,24	0,61	0,56	
Vías principales y ejes viales	13,95*	13,95 ≤ E	0,46	0,79	s.d.	s.d.	0,65	0,65	0,42	0,62	0,57	0,57	0,61	0,61	0,32	0,57	0,32	0,79	0,32	0,62	0,65	
Ancho de calle 10,5 m																						
Vías secundaria industrial Tipo C	3,50	3,50 ≤ E < 4,43	0,28	0,28	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,19	0,19	s.d.	s.d.	s.d.	0,14	0,15	0,07	0,13	0,07	0,28	0,07	0,19	0,20
Autopistas y carreteras	4,43	4,43 ≤ E < 5,36	s.d.	s.d.	0,29	0,29	0,29	0,29	s.d.	s.d.	0,16	0,16	0,19	0,19	0,12	0,16	0,12	0,29	0,12	0,19	0,24	
Vías secundaria residencial Tipo B	5,36	5,36 ≤ E < 7,25	0,30	0,30	0,38	0,38	0,38	0,38	0,25	0,25	0,21	0,21	0,19	0,26	0,10	0,19	0,10	0,38	0,10	0,26	0,27	
Vías secundaria residencial Tipo A	7,25	7,25 ≤ E < 9,15	0,40	0,40	0,49	0,49	0,38	0,38	0,27	0,27	0,23	0,23	0,29	0,32	0,14	0,25	0,14	0,49	0,14	0,32	0,35	
Vías primarias y colectoras	9,15	9,15 ≤ E < 12,02	0,41	0,55	0,65	0,69	0,42	0,42	0,36	0,36	0,31	0,37	0,35	0,43	0,20	0,37	0,20	0,69	0,20	0,43	0,44	
Vías acceso controlado y vías rápidas	12,02	12,02 ≤ E < 13,95	s.d.	s.d.	0,65	0,65	0,56	0,56	0,40	0,40	s.d.	s.d.	0,52	0,52	0,27	0,37	0,27	0,65	0,27	0,52	0,56	
Vías principales y ejes viales	13,95*	13,95 ≤ E	0,55	0,68	s.d.	s.d.	0,56	0,56	0,53	0,53	0,49	0,49	s.d.	s.d.	0,35	0,49	0,35	0,68	0,35	0,53	0,63	
Ancho de calle 12 m																						
Vías secundaria industrial Tipo C	3,50	3,50 ≤ E < 4,43	0,24	0,24	0,36	0,43	0,25	0,25	0,17	0,17	0,14	0,14	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,14	0,43	0,14	0,17	0,18	
Autopistas y carreteras	4,43	4,43 ≤ E < 5,36	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,22	
Vías secundaria residencial Tipo B	5,36	5,36 ≤ E < 7,25	0,26	0,35	0,43	0,49	0,33	0,33	0,22	0,22	0,18	0,21	0,19	0,31	0,11	0,18	0,11	0,49	0,11	0,31	0,25	
Vías secundaria residencial Tipo A	7,25	7,25 ≤ E < 9,15	s.d.	s.d.	0,57	0,60	0,36	0,49	0,24	0,24	0,27	0,27	0,28	0,37	0,14	0,24	0,14	0,60	0,14	0,37	0,33	
Vías primarias y colectoras	9,15	9,15 ≤ E < 12,02	0,36	0,48	0,81	0,81	0,36	0,36	0,32	0,35	0,32	0,32	0,37	0,46	0,18	0,33	0,18	0,81	0,18	0,46	0,42	
Vías acceso controlado y vías rápidas	12,02	12,02 ≤ E < 13,95	0,48	0,48	s.d.	s.d.	0,49	0,49	s.d.	s.d.	0,43	0,43	s.d.	s.d.	0,24	0,44	0,24	0,49	0,24	0,44	0,52	
Vías principales y ejes viales	13,95*	13,95 ≤ E	0,60	0,79	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	0,46	0,46	0,43	0,43	s.d.	s.d.	0,36	0,43	0,36	0,79	0,36	0,46	0,58	

*Se omitieron simulaciones que excedieran este nivel en 40%

Para cada ancho de calle se simularon al menos dos casos, de tal forma que al variar la distancia interpostal y altura de montaje, se pudieran obtener diferentes valores para poder cubrir la mayor cantidad de intervalos para cada tecnología. Como se puede observar, no en todos los intervalos se obtuvieron datos de todas las tecnologías, principalmente porque para algunas tecnologías, aunque se tengan diferentes tipos de luminarios, si no se tiene una gran variedad de potencias, es difícil que se obtengan diferentes niveles de iluminación para un mismo caso. No obstante, en la mayoría de los casos para cada ancho de calle, en cada intervalo se obtuvieron datos al menos para cuatro tecnologías.

En las Tablas 4.13, 4.14 y 4.15 se muestran los valores mínimo y máximo que se obtuvieron considerando todas las tecnologías; sin embargo, para que en la determinación de los valores de DPEA se aprovecharan los avances que se han tenido en la iluminación, también se obtuvieron los valores mínimo y máximo tomando en cuenta las cuatro tecnologías más eficientes, las cuales se identificaron a partir de los valores promedio de $I_{x_{mes}}/W$ a las 12 000 horas, obtenidos para cada tecnología que se muestran en la Tabla 4.16:

Tabla 4.16 Valores mínimo, máximo y promedio de luxes por unidad de carga a las 12 000 horas obtenidos para cada tecnología

Tecnología	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [$I_{x_{mes}}/W$]		
	Mínimo	Máximo	Promedio
Vapor de sodio de alta presión	0,0290	0,1149	0,0662
Vapor de sodio de alta presión optimizado	0,0491	0,1302	0,0893
Vapor de aditivos metálicos	0,0235	0,0723	0,0410
Vapor de aditivos metálicos de arranque por pulso	0,0400	0,0897	0,0620
Vapor de aditivos metálicos cerámicos	0,0659	0,1391	0,1012
Inducción	0,0530	0,1226	0,0807
LEDs	0,0692	0,2564	0,1250

Las cuatro tecnologías más eficientes en las simulaciones fueron, en orden de menor a mayor, inducción, VSAP optimizado, VAM cerámico y LEDs; este orden no es una regla, ya que se encontraron simulaciones con sistemas de VSAP que presentaron mejores resultados que algunos luminarios de inducción y LEDs. Cabe destacar que la tecnología menos eficiente, fue la de VAM convencional, debido a la alta depreciación que presenta.

Con base en lo anteriormente expuesto, para cada tipo de vialidad, ancho de calle y tipo de pavimento, los valores propuestos de DPEA se obtuvieron tomando en cuenta el valor máximo DPEA encontrado con las cuatro tecnologías mencionadas; en los casos en lo que para alguna de estas tecnologías no se contaba con un valor de DPEA para algún intervalo, se consideraron algunos valores de DPEA correspondientes al intervalo inmediato superior; únicamente en los casos en los que el valor máximo de DPEA para VSAP era menor al valor máximo para inducción, se omitió el valor máximo de esta última tecnología.

Como se puede observar en las Tablas 4.13, 4.14 y 4.15, los valores propuestos de DPEA definidos son mayores al valor máximo obtenido para las cuatro tecnologías más eficientes, por lo que varios luminarios de VSAP y VAM PS también cumplen con los valores especificados. En la Tabla 4.17 se muestra el resumen de los valores DPEA propuestos para la actualización de la NOM-013-ENER-2004, en el mismo formato en el que se expresaron anteriormente los valores de la norma actual:

Tabla 4.17 Valores máximos permitidos de DPEA propuestos para la actualización de la NOM-013-ENER-2004

Clasificación de vialidades	R ₁				R ₂ y R ₃				R ₄			
	Ancho de calle [m]											
	7,5	9	10,5	12	7,5	9	10,5	12	7,5	9	10,5	12
Autopistas y carreteras	0,24	0,22	0,20	0,18	0,31	0,32	0,27	0,25	0,28	0,26	0,24	0,22
Vías de acceso controlado y vías rápidas	0,50	0,48	0,44	0,42	0,66	0,60	0,58	0,55	0,62	0,56	0,56	0,52
Vías principales y ejes viales	0,58	0,52	0,50	0,48	0,78	0,72	0,68	0,64	0,70	0,65	0,63	0,58
Vías primarias y colectoras	0,42	0,39	0,35	0,33	0,58	0,52	0,50	0,48	0,50	0,48	0,44	0,42
Vías secundaria residencial Tipo A	0,34	0,32	0,27	0,25	0,47	0,43	0,40	0,37	0,42	0,39	0,35	0,33
Vías secundaria residencial Tipo B	0,28	0,26	0,24	0,22	0,38	0,35	0,30	0,28	0,32	0,30	0,27	0,25
Vías secundaria industrial Tipo C	0,20	0,18	0,16	0,14	0,24	0,22	0,20	0,18	0,24	0,22	0,20	0,18

El comportamiento de la tabla obtenida es el mismo que el de la tabla de valores de DPEA actuales (Tabla 4.12), es decir, entre mayor es la reflectancia y/o el ancho de calle, menor es el valor de DPEA máximo permitido para cada tipo de vialidad. En la Tabla 4.18 se presenta la reducción porcentual de cada uno de los valores DPEA propuestos, en comparación con los valores actuales.

Tabla 4.18 Reducción porcentual que representan los valores DPEA propuestos en comparación con los valores de DPEA actuales

Clasificación de vialidades	R ₁				R ₂ y R ₃				R ₄				Promedio
	Ancho de calle [m]												
	7,5	9	10,5	12	7,5	9	10,5	12	7,5	9	10,5	12	
Autopistas y carreteras	25,0%	21,4%	23,1%	21,7%	24,4%	15,8%	22,9%	19,4%	20,0%	21,2%	20,0%	21,4%	21,4%
Vías de acceso controlado y vías rápidas	29,6%	27,3%	27,9%	25,0%	34,7%	36,8%	32,6%	32,1%	34,0%	35,6%	30,0%	30,7%	31,4%
Vías principales y ejes viales	32,6%	35,8%	32,4%	30,4%	33,3%	35,7%	34,0%	34,0%	34,0%	35,0%	32,3%	33,3%	33,6%
Vías primarias y colectoras	25,0%	25,0%	27,1%	25,0%	32,6%	35,8%	32,4%	30,4%	29,6%	27,3%	27,9%	25,0%	28,6%
Vías secundaria residencial Tipo A	17,1%	15,8%	22,9%	19,4%	26,6%	27,1%	25,9%	26,0%	25,0%	25,0%	27,1%	25,0%	23,6%
Vías secundaria residencial Tipo B	20,0%	21,2%	20,0%	21,4%	22,4%	22,2%	28,6%	24,3%	22,0%	21,1%	22,9%	19,4%	22,1%
Vías secundaria industrial Tipo C	23,1%	21,7%	15,8%	17,6%	25,0%	21,4%	23,1%	21,7%	25,0%	21,4%	23,1%	21,7%	21,7%
Promedio general												26,0%	

La reducción porcentual resultante está entre 15,8% y 36,8%, mientras que el promedio general es del 26%. Cabe destacar que la mayor disminución se obtuvo en los tipos de vialidades que requieren un mayor nivel de iluminación –vías de acceso controlado y vías rápidas, vías principales y ejes viales, así como vías primarias y colectoras–.

De manera general, los porcentajes de reducción obtenidos, representan el ahorro mínimo que se puede obtener en el alumbrado de vialidades al implementar la presente propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004. No obstante, el potencial que se tiene es aún más alto, ya que en muchos casos algunas tecnologías permiten ahorros mayores.

Aunque los LEDs presentaron la mayor eficiencia, es importante saber que debido a que es una tecnología reciente, el costo de estos equipos es elevado, por lo que por el momento, solo en algunos proyectos es factible su aplicación –ya sea el total de luminarios del proyecto o una parte de ellos–; algo similar sucede con los equipos de inducción, aunque su precio en general, es menor al de los LEDs.

Los valores propuestos de DPEA consideraron varias tecnologías, de manera que fuera factible la implementación de proyectos basándose en la presente propuesta de actualización, y así poder promover una reducción significativa del consumo de los sistemas de alumbrado de vialidades.

IV.3.3.5 Otras especificaciones

La NOM-001-SEDE-2005 y la NOM-013-ENER-2004, incluyen algunas especificaciones adicionales para el alumbrado de vialidades, sobre las cuales es conveniente realizar los siguientes comentarios:

- Vialidades a iluminar. En el caso de la NOM-001-SEDE-2005, en el Artículo 930-4 de la NOM-001-SEDE-2005, se hace la aclaración de que las únicas vialidades que pueden o no ser iluminadas son las autopistas y carreteras, pero que los demás tipos de vialidades indicados en el Artículo 930-3 sí se deben iluminar. En la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, esta especificación se conserva de la misma forma ya que, en general, en México no se acostumbra iluminar las autopistas y carreteras, solo en algunos se llegan a iluminar los tramos en los que se encuentra algún poblado, caseta o lugar de consumo.
- Tipos de tecnologías prohibidas. El artículo 930-4 indica que en el alumbrado público no se permite el uso de lámparas incandescentes, fluorescentes, tungsteno-halógeno, vapor de mercurio y luz mixta, con excepción de los pasos a desnivel peatonales, alumbrado de emergencia e instalaciones temporales; esta especificación obedece principalmente a motivos de eficiencia energética, aunque en el caso de las lámparas fluorescentes en su momento, también fue por algunas cuestiones de seguridad. Debido a su eficacia –de 15 a 60 lm/W– y tipos de curvas, es muy difícil que estas tecnologías cumplan con los valores especificados en la presente propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, no obstante, se considera conveniente seguir prohibiendo estas y otras tecnologías de tal manera que no exista la posibilidad de querer implementarlas.

En este sentido, las tecnologías prohibidas en la propuesta de actualización son incandescente, incandescente-halógena, fluorescentes, fluorescentes compactas, luz mixta, vapor de mercurio y vapor de aditivos metálicos convencionales –no incluye arranque por pulso y cerámicos–; se agregan las lámparas fluorescentes compactas ya que su eficiencia energética también es baja en comparación con VSAP, VSAP optimizado, VAM PS, VAM C, inducción y LEDs; aunque las lámparas de VAM pueden tener una eficacia mayor a 60 lm/W, su depreciación es muy alta en la mayoría de los casos, por lo que después de un tiempo se reduce considerablemente su eficacia; incluso la creación de tecnologías como VAM PS y VAM C son una respuesta de los fabricantes a los inconvenientes que presentan las lámparas convencionales de esta tecnología.

- Reflectancia del pavimento. Los valores de reflectancia del pavimento indicados en la NOM-001-SEDE-2005 se conservan en la propuesta de actualización de la NOM-013-

ENER-2004. En general, el tipo de pavimento más utilizado es el R₂, sin embargo, aunque los valores de reflectancia de la NOM-001-SEDE-2005 son los mismos que se especifican en la norma ANSI/IES RP-8-00, lo ideal es realizar un estudio para conocer cuáles son los pavimentos más comunes en México, obtener su reflectancia media y generar una tabla con los más representativos.

- DPEA de vialidades con superpostes. Esta tesis no hace un análisis de estos valores, ya que se considera necesario conocer las dimensiones y características de algunos proyectos que se hayan realizado con anterioridad; los valores de DPEA para vialidades iluminadas con superpostes contenidos en la propuesta de actualización, son los mismos que se especifican en la norma actual, sin embargo se reconoce que deben ser revisados y, en su caso, ajustados. Debido a la altura de montaje, los luminarios instalados en superpostes usualmente son de potencia altas –mayores a 250 W–, por lo que es difícil encontrar equipos de VSAP optimizado, VAM C, inducción o LEDs que representen una opción de ahorro.

Además de las especificaciones mencionadas, se considera que la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, debe precisar los siguientes puntos:

- Temperatura de color correlacionada máxima. Al proponer la aplicación del sistema de fotometría mesópica de la CIE, es evidente que las fuentes de luz con una mayor relación S/P son las que resultan más beneficiadas. Una alta relación S/P está relacionada con una alta TCC –aunque no es el único parámetro involucrado–, por lo que se considera necesario limitar el valor de la TCC con la finalidad de evitar que se genere la intención de implementar fuentes de luz con temperaturas de color excesivas; se propone que la TCC se limite a 6 500 K, ya que las fuentes de luz con una temperatura mayor son muy azuladas e incluso violáceas.
- Energías renovables y sistemas de atenuables. Emplear energías renovables o sistemas atenuables, no debe ser un pretexto para reducir la eficiencia energética de los sistemas de iluminación y mucho menos los niveles de iluminación requeridos. En el caso de las energías renovables, entre mayor es la eficiencia energética, menor es la carga conectada que se requiere, lo cual permite reducir la capacidad de paneles solares, turbinas eólicas y/o baterías, según aplique. En el caso de los sistemas atenuables, el que haya menos usuarios a ciertas horas, no implica que dichos usuarios requieran de un nivel de iluminación menor, por lo que al atenuar los niveles de iluminación no se debe dejar de cumplir con los niveles requeridos por la normatividad; por otro lado, para el cálculo de la DPEA de estos sistemas es necesario considerar la potencia media que se tendrá en todo el horario.

IV.4 Contenido adicional indicado en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización

El Título Cuarto de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN) establece algunos aspectos sobre la acreditación y determinación del cumplimiento de las normas. En lo particular, el Artículo 73 indica que “las dependencias competentes establecerán, tratándose de las normas oficiales mexicanas, los procedimientos para la evaluación de la conformidad cuando para fines oficiales requieran comprobar el cumplimiento con las mismas”. El procedimiento para la evaluación de la conformidad (PEC) establece los pasos que deben seguir aquellas personas o entidades autorizadas con el fin de verificar el cumplimiento de las normas.

Los PEC pueden incluirse dentro de la misma norma, publicarse posteriormente o ser publicados de forma general; por ejemplo, en la NOM-028-ENER-2010 el PEC se incluyó dentro de la misma norma; en el caso de la NOM-013-ENER-2004 se publicó más de un año después –miércoles 9 de agosto de 2006– de la fecha de publicación de la norma –martes 19 de abril de 2005– en el Diario Oficial de la Federación.

En este sentido, el procedimiento para la evaluación de la conformidad de la presente propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 se basa en los PEC de la NOM-013-ENER-2004, la NOM-007-ENER-2004 y la NOM-028-ENER-2010.

Por otra parte, de acuerdo al Artículo 41 de la LFMN, las normas oficiales mexicanas deben mencionar la o las dependencias que vigilarán el cumplimiento de las normas cuando exista concurrencia de competencias; al respecto, las NOMs incluyen un capítulo en el que se indica la dependencia encargada de verificar el cumplimiento de la misma, así como algunos detalles sobre su verificación.

En particular, el organismo encargado de la vigilancia de la NOM-013-ENER-2004 es la CONUEE, por lo que en la propuesta de actualización se mantiene esta condición.

IV.5 Elementos complementarios

De acuerdo a la NMX-Z-013-1977, los elementos complementarios de una norma oficial mexicana son los siguientes: apéndices que forman parte de la norma, notas al pie de página, bibliografía, concordancia con normas internacionales y apéndices que no forman parte de la norma. La concordancia con normas internacionales y la bibliografía siguen la numeración de los demás elementos, mientras que los apéndices, sean normativos o informativos, se ponen al final y se listan con las letras del abecedario, como en el caso de la NOM-028-ENER-2010. A continuación se mencionan algunas consideraciones sobre el contenido de estos elementos en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004:

IV.5.1 Bibliografía

A diferencia de las referencias, de acuerdo a la NMX-Z-013-1977, en la bibliografía deben incluirse únicamente las fuentes que fueron consultadas para la preparación de la norma, no aquellas que sirven de referencia para su aplicación. La bibliografía de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 es una selección de los documentos más importantes que conforman la bibliografía de esta tesis, incluyendo: normas oficiales mexicanas, normas mexicanas, normas y recomendaciones internacionales sobre alumbrado de vialidades, documentos sobre los sistemas de fotometría mesópica, entre otros.

IV.5.2 Concordancia con normas internacionales

En este elemento se debe mencionar el grado de concordancia que se tiene con normas similares que sean de reconocimiento internacional –como lo son las normas ISO o IEC–. En este sentido, no existe una norma internacional que tenga un objetivo o especificaciones similares a la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, que es lo mismo que sucede con la norma actual.

IV.5.3 Apéndices que forman parte de la norma

En los apéndices que forman parte de la norma, se incluyen elementos de carácter normativo, que debido a su extensión, es preferible ponerlos al final del documento con la finalidad de que no se pierda la continuidad del texto. En la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 este elemento incluye únicamente las tablas de conversión a iluminancia mesópica.

IV.5.4 Apéndices que no forman parte de la norma

Son apéndices informativos que usualmente tienen la intención de profundizar en algún concepto de la norma, con el fin de ilustrar su aplicación en la misma. En la propuesta de actualización, con fines ilustrativos, solo se incluye un apéndice con un ejemplo de cálculo empleando el método de prueba y las especificaciones de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004.



V. Propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004

La propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 contenida en este capítulo tiene como objetivo principal promover un aumento significativo en la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de vialidades.

La elaboración de esta propuesta se basó en la aplicación del sistema de fotometría mesópica de la CIE y en la evaluación de los valores de DPEA que se pueden obtener con las tecnologías actualmente disponibles.

Por motivos de alcance del presente trabajo y por considerarlo mejor en términos de normatividad, el campo de aplicación de la propuesta de actualización se limitó al alumbrado de vialidades; en este sentido, la propuesta representa una solución a varias de las deficiencias e inconsistencias encontradas en la normatividad nacional vigente aplicable a los sistemas de alumbrado de vialidades.

Esta propuesta de actualización no es un documento definitivo, está abierta a todas las observaciones que permitan que tenga un mayor sustento y que den una mayor certeza a la regulación de los sistemas de alumbrado de vialidades.

El formato y numeración de la propuesta difiere con el del resto de este documento, con el objetivo de diferenciarla y darle una presentación similar a la de una norma oficial mexicana.

**PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-013-ENER-2004,
EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA SISTEMAS DE ALUMBRADO PARA VIALIDADES**

Contenido

1. Objetivo.
 2. Campo de aplicación.
 - 2.1 Excepciones.
 3. Referencias.
 4. Definiciones.
 5. Clasificación.
 6. Especificaciones.
 7. Método de prueba.
 - 7.1 Método de muestreo.
 - 7.2 Instrumentos de medición.
 - 7.3 Método de medición.
 - 7.4 Método de cálculo.
 8. Vigilancia.
 9. Procedimiento de evaluación de la conformidad.
 10. Bibliografía.
 11. Concordancia con normas internacionales.
- Apéndice A (normativo) Tablas de conversión a iluminancia mesópica.
- Apéndice B (informativo) Ejemplo de aplicación del método de cálculo.

1. Objetivo

Esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 establece los niveles de eficiencia energética en términos de valores máximos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA), así como los niveles de iluminación que deben cumplir las instalaciones de alumbrado para vialidades, con el propósito de que se especifiquen bajo un criterio de uso eficiente de la energía eléctrica, sin dejar de proporcionar las condiciones visuales adecuadas que permitan una visión rápida, precisa y confortable durante las horas de la noche.

2. Campo de aplicación

El campo de aplicación de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 comprende todos los sistemas nuevos de alumbrado para vialidades, así como las ampliaciones y modificaciones a los proyectos existentes, incluyendo las sustituciones de equipos que se deriven de proyectos de ahorro de energía eléctrica o de modernización, independientemente de la cantidad de equipos o de la carga conectada.

2.1 Excepciones

No se consideran dentro del campo de aplicación de esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 a los sistemas de alumbrado que se instalen en los siguientes lugares:

- Aeropuertos: sistemas de aproximación, sistemas de precisión para un aterrizaje correcto, luces de señalización de pistas, rodajes y plataformas, zonas de maniobras y de pernocta y similares.
- Alumbrado para áreas exteriores públicas: Alumbrado destinado a iluminar plazas, zócalos, monumentos, banderas, parques, alamedas, paraderos, lagos, esculturas, fuentes y similares.
- Alumbrado de emergencia.
- Alumbrado de estacionamientos públicos abiertos, cerrados o techados.
- Alumbrado dentro de predios de viviendas unifamiliares.
- Alumbrado dentro de los predios de viviendas plurifamiliares.
- Alumbrado ornamental de temporada.
- Alumbrado para ferias.
- Alumbrado para plataformas marinas, faros y similares.
- Alumbrado temporal en obras de construcción.
- Anuncios luminosos.
- Áreas de vigilancia especial, garitas, retenes y similares de seguridad.
- Áreas típicamente regidas por relaciones laborales como andenes, muelles, patios de maniobra y almacenamiento, áreas de carga y descarga, áreas de manufactura de astilleros y similares.
- Ciclopistas.
- Juegos mecánicos.
- Lugares de resguardo de bicicletas.
- Paseos exclusivos de jinetes.
- Señalización de vialidades y carreteras, semaforización.
- Túneles y pasos a desnivel.

3. Referencias

Para la correcta aplicación de esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 deben consultarse y aplicarse las siguientes normas oficiales mexicanas y normas mexicanas voluntarias vigentes o las que las sustituyan:

NOM-008-SCFI-2002	Sistema general de unidades de medida.
NOM-030-ENER-2012	Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba.
NMX-J-198-ANCE-2005	Iluminación-Balastros para lámparas fluorescentes-Métodos de prueba.
NMX-J-530-ANCE-2008	Iluminación-Guía para la medición de características eléctricas y fotométricas para lámparas de descarga en alta intensidad.

4. Definiciones

Para efectos de esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 los siguientes términos se definen como se establece en este capítulo. Los términos no definidos tienen su acepción ordinariamente aceptada dentro del contexto en el que son usados, o bien, están definidos en otras normas y publicaciones con carácter oficial.

4.1 Alumbrado para vialidades. Sistema de iluminación que tiene como finalidad principal proporcionar las condiciones adecuadas de iluminación para el tránsito seguro de peatones y vehículos en las vialidades y sus inmediaciones.

4.2 Controlador. Dispositivo conectado entre la fuente de alimentación y la fuente de luz, cuya función es satisfacer los parámetros eléctricos requeridos para su correcto funcionamiento. Se clasifican en balastos –para lámparas con impedancia negativa–, generadores de alta frecuencia –para lámparas de inducción– y controladores para LEDs –en inglés denominados drivers–.

4.3 Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA). Índice energético que indica la cantidad de carga conectada utilizada para iluminar una superficie determinada; se expresa en W/m^2 .

4.4 Depreciación del flujo luminoso (DFL). Relación del flujo luminoso total de una fuente luz a un cierto número de horas de uso –o a un determinado porcentaje de su vida nominal– entre su flujo luminoso inicial obtenido en condiciones de operación controladas a 100 horas de envejecimiento.

4.5 Diodo emisor de luz (LED). Dispositivo semiconductor que emite luz como parte de la energía que disipa cuando la corriente eléctrica circula entre sus terminales. En su forma más básica está construido por un cristal semiconductor contenido en un encapsulado epóxico que sirve de protección; pueden ser fabricados para emitir luz de diferentes colores y tonalidades, su flujo luminoso está determinado por la corriente que se le suministra.

4.6 Factor de depreciación por ensuciamiento (F_E). Valor que indica la proporción en que se reduce la salida de luz de un luminario como consecuencia de la acumulación de polvo y otras partículas a través del tiempo; depende de otros factores como las condiciones del lugar de instalación, grado de protección de luminario, así como el periodo y mantenimiento de limpieza de los equipos.

4.7 Flujo luminoso (Φ_v). Cantidad total de energía luminosa emitida por una fuente de luz en todas las direcciones en una unidad de tiempo; su unidad es el lumen. El flujo luminoso se evalúa en términos de la función fotópica o de la función escotópica.

4.8 Función escotópica ($V'(\lambda)$). Función que caracteriza la sensibilidad espectral de la visión periférica del ojo humano cuando está adaptado a la oscuridad –niveles de iluminación menores a $0,005 \text{ cd/m}^2$ –, en la que intervienen predominantemente los bastones de la retina.

4.9 Función fotópica ($V(\lambda)$). Función que caracteriza la sensibilidad espectral de la visión central del ojo humano cuando está adaptado a niveles de iluminación mayores a 5 cd/m^2 , en la que intervienen predominantemente los conos de la retina.

4.10 Iluminancia (E). Densidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie o plano de trabajo; su unidad es el lux (lx). Los luxómetros que tienen un solo sensor fotosensible están calibrados a partir de la función fotópica, es decir, miden iluminancia fotópica.

4.12 Iluminancia mesópica (E_{MES}). Valor mesópico que equivale a un nivel determinado de iluminancia fotópica de acuerdo con el sistema de fotometría mesópica de la CIE (Comisión Internacional de Iluminación), en función de la relación S/P de la fuente de luz y del tipo de pavimento. En esta propuesta la unidad de este parámetro es el lux mesópico (lx_{mes}).

4.13 Lámpara de alta intensidad de descarga. Lámpara en la que la luz es emitida a partir de una descarga eléctrica entre dos electrodos en un tubo de descarga que contiene diversos gases y compuestos operando en condiciones con alta temperatura y presión. Debido a su impedancia negativa requiere de un balastro para su operación.

4.13 Lámpara de aditivos metálicos. Lámpara de alta intensidad de descarga con tubo de descarga fabricado en cristal de cuarzo o algún material cerámico, que produce luz por la radiación del mercurio y de otros compuestos adicionales como yoduros de sodio, torio y escandio.

4.14. Lámpara de aditivos metálicos cerámicos. Tipo de lámpara de aditivos metálicos con tubo de descarga de algún material cerámico; tiene mayor eficacia y menor depreciación de flujo luminoso que las lámparas de aditivos metálicos que tienen tubo de descarga de cristal de cuarzo.

4.15 Lámpara de aditivos metálicos convencionales. Tipo de lámpara de aditivos metálicos con tubo de descarga de cristal de cuarzo que no requiere de ignitor para su operación; es el tipo de la lámpara de aditivos metálicos con menor eficacia y mayor depreciación de flujo luminoso.

4.16 Lámpara de aditivos metálicos de arranque por pulso. Tipo de lámpara de aditivos metálicos con tubo de descarga de cristal de cuarzo que incluye un ignitor para reducir el tiempo de arranque; tiene mayor eficacia y menor depreciación de flujo luminoso que las lámparas de vapor de aditivos metálicos convencionales.

4.17 Lámpara de inducción electromagnética. Lámpara que funciona a partir de un campo magnético de alta frecuencia que genera un flujo de electrones en el interior de un bulbo, los cuales impactan con átomos de vapor de mercurio produciendo radiación UV que se convierte en luz al entrar en contacto con el recubrimiento fosfórico interno del bulbo. La lámpara no tiene electrodos, ni conexiones eléctricas internas o externas; el campo magnético es inducido por medio de uno o dos inductores que se conectan a un generador de alta frecuencia.

4.18 Lámpara de luz mixta. Lámpara que combina el principio de operación de una lámpara incandescente y una lámpara de descarga en gas, la cual no requiere de balastro para su operación.

4.19 Lámpara de vapor de mercurio. Lámpara de alta intensidad de descarga en la que la mayor parte de la luz se produce directa o indirectamente por la radiación del mercurio operando a una presión parcial mayor a $1,013 \times 10^5$ Pa.

4.20 Lámpara de vapor de sodio de alta presión. Lámpara de alta intensidad de descarga en la cual la mayor porción de la luz se produce principalmente por la radiación del sodio en un tubo de descarga de aluminio policristalino operando a una presión parcial mayor a 6.67×10^3 Pa.

4.21 Lámpara de vapor de sodio de baja presión. Lámpara de baja intensidad de descarga con tubo en forma de "U" que contiene una atmósfera de sodio a muy baja presión y algunos gases auxiliares para facilitar el encendido. El tubo de descarga está protegido por otro bulbo exterior, con una atmósfera al vacío entre ambos.

4.22 Lámpara fluorescente. Lámpara de descarga eléctrica en vapor de mercurio en baja presión en la cual la emisión principal proviene de una o más capas de material fluorescente, el cual se excita por la radiación ultravioleta de la descarga. El bulbo puede ser de forma tubular, recta o curvada, al interior contiene cátodos y al exterior tiene un alfiler doble o sencillo en cada extremo para la alimentación eléctrica. Las lámparas fluorescentes tienen impedancia negativa por lo que requieren de un balastro para su operación.

4.23 Lámpara fluorescente compacta. Lámpara de descarga eléctrica en vapor de mercurio en baja presión en la cual la emisión principal proviene de un recubrimiento de material fluorescente. Puede ser de tipo modular, donde la lámpara y el adaptador pueden desacoplarse, o integral (autobalastada) donde la lámpara y el adaptador forman un solo conjunto.

4.24 Lámpara incandescente. Dispositivo hermético de vidrio al vacío o lleno de gas inerte dentro del cual se produce luz mediante un filamento que se calienta hasta la incandescencia debida al paso de una corriente eléctrica.

4.25 Lámpara incandescente halógena. Lámpara incandescente con filamento de tungsteno y rellena con gases de la familia de los halógenos.

4.26 Niveles mínimos mantenidos de iluminancia. Valor mínimo de iluminancia que conservan las instalaciones de alumbrado independientemente del tiempo que tengan de funcionamiento.

4.27 Relación S/P. Es la relación de relación del flujo luminoso evaluado con la función escotópica, entre el flujo luminoso evaluado con la función fotópica.

4.28 Sistema de fotometría mesópica de la CIE. Sistema que define un conjunto de funciones que describen el desempeño visual del ojo humano en el intervalo de $0,005 \text{ cd/m}^2$ a 5 cd/m^2 , en términos del nivel de luminancia fotópica y la relación S/P; en este intervalo, la sensibilidad del ojo humana es caracterizada por tanto por los conos y como los bastones de la retina.

4.29 Vialidad. Es el área definida y dispuesta para el tránsito seguro y confortable de los vehículos automotores y sus demás usuarios.

5. Clasificación

Para fines aplicación de esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, las vialidades se clasifican de la siguiente forma:

5.1 Autopistas. Vialidades que interconectan varias poblaciones, sin cruces al mismo nivel, con tránsito vehicular de alta velocidad y control total de acceso.

5.2 Carreteras. Vialidades que interconecta dos poblaciones y con cruces al mismo nivel.

5.3 Vías de acceso controlado y vías rápidas. Vialidades de una ciudad que tiene alto flujo vehicular y alta velocidad, sin cruces al mismo nivel ni pasos peatonales.

5.4 Vías principales y ejes viales. Vialidades que sirven como red principal para el tránsito de paso; conectan áreas de generación de tráfico y vialidad importante de acceso a la ciudad. Generalmente tienen alto tránsito peatonal y vehicular nocturno y pueden tener circulación vehicular en contra flujo. Típicamente no cuenta con pasos peatonales.

5.5 Vías primarias o colectoras. Vialidades que sirven para conectar el tránsito entre las vías principales y las secundarias.

5.6 Vías secundarias. Vialidades usadas fundamentalmente para acceso directo a zonas residenciales, comerciales e industriales, se clasifican a su vez en:

5.6.1 Vías secundarias TIPO A. Vía de tipo residencial con alto tránsito peatonal nocturno, tránsito vehicular de moderado a alto, y con moderada existencia de comercios.

5.6.2 Vías secundarias TIPO B. Vía de tipo residencial con moderado tránsito peatonal nocturno, tránsito vehicular de bajo a moderado y con moderada existencia de comercios.

5.6.3 Vías secundarias TIPO C. Vía de acceso industrial que se caracteriza por bajo tránsito peatonal nocturno, moderado tránsito vehicular y baja actividad comercial.

6. Especificaciones

En los sistemas para alumbrado de vialidades cubiertos por los apartados 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, y 5.6 de esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, no se permite el uso de lámparas incandescentes, incandescentes halógenas, fluorescentes, fluorescentes compactas, luz mixta, vapor de mercurio, vapor de aditivos metálicos convencionales y vapor de sodio baja presión. La temperatura de color correlacionada nominal de las fuentes de luz empleadas para el alumbrado de vialidades no debe ser mayor a 6 500 K.

Los valores máximos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado con los que deben cumplir los sistemas de alumbrado para vialidades no deben exceder los niveles establecidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores máximos permitidos de DPEA en los sistemas de alumbrado para vialidades (W/m²)

Clasificación de vialidades	Ancho de calle (m)											
	Tipo de pavimento R ₁				Tipo de pavimento R ₂ y R ₃				Tipo de pavimento R ₄			
	≤ 7,5	> 7,5 ≤ 9	> 9 ≤ 10,5	> 10,5	≤ 7,5	> 7,5 ≤ 9	> 9 ≤ 10,5	> 10,5	≤ 7,5	> 7,5 ≤ 9	> 9 ≤ 10,5	> 10,5
Autopistas y carreteras	0,24	0,22	0,20	0,18	0,31	0,32	0,27	0,25	0,28	0,26	0,24	0,22
Vías de acceso controlado y vías rápidas	0,50	0,48	0,44	0,42	0,66	0,60	0,58	0,55	0,62	0,56	0,56	0,52
Vías principales y ejes viales	0,58	0,52	0,50	0,48	0,78	0,72	0,68	0,64	0,70	0,65	0,63	0,58
Vías primarias y colectoras	0,42	0,39	0,35	0,33	0,58	0,52	0,50	0,48	0,50	0,48	0,44	0,42
Vías secundaria residencial Tipo A	0,34	0,32	0,27	0,25	0,47	0,43	0,40	0,37	0,42	0,39	0,35	0,33
Vías secundaria residencial Tipo B	0,28	0,26	0,24	0,22	0,38	0,35	0,30	0,28	0,32	0,30	0,27	0,25
Vías secundaria industrial Tipo C	0,20	0,18	0,16	0,14	0,24	0,22	0,20	0,18	0,24	0,22	0,20	0,18

En caso de que las vialidades sean iluminadas con superpostes, los valores máximos de densidad de potencia para alumbrado no deben exceder los niveles indicados en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores máximos permitidos de DPEA para vialidades iluminadas con superpostes

Area de iluminar (m ²)	Densidad de Potencia (W/m ²)
< 2 500	0,52
de 2 500 a < 5 000	0,49
de 5 000 a < 12 500	0,46
< 12 500	0,44

Sin exceder los valores de DPEA máximos permitidos, los sistemas de alumbrado para vialidades deben cumplir con los niveles de iluminancia mesópica y las relaciones de uniformidad que se especifican en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores requeridos de iluminancia mesópica promedio y relaciones de uniformidad en el alumbrado para vialidades

Clasificación de vialidades	Vialidades					Andadores
	Iluminancia mesópica promedio (lx _{mes}) Valores mínimos mantenidos			Relaciones de uniformidad de la iluminancia Valores máximos permitidos con una tolerancia de 10%		Iluminancia mesópica promedio (lx _{mes}) Valores mínimos mantenidos
	R ₁	R ₂ y R ₃	R ₄	Prom / Min	Max / Min	Cualquier pavimento
Autopistas y carreteras	3,54	5,32	4,43	3,5	6	---
Vías de acceso controlado y vías rápidas	9,24	12,92	12,02	3	5	---
Vías principales y ejes viales	11,16	15,81	13,95	3	5	9,24
Vías primarias y colectoras	7,32	11	9,15	3	5	---
Vías secundaria residencial Tipo A	5,42	8,15	7,25	6	10	---
Vías secundaria residencial Tipo B	4,48	6,26	5,36	6	10	9,24
Vías secundaria industrial Tipo C	2,61	3,47	3,5	6	10	5,42

Únicamente las autopistas y carreteras pueden estar no iluminadas, los tipos restantes de vialidades deben iluminarse independientemente de cual sea el caso. Para las autopistas, los valores de la Tabla 3 aplican tanto a la vialidad como a las rampas de acceso.

Los sistemas de alumbrado para vialidades que utilicen energías renovables o sistemas de atenuación también deben cumplir con los valores anteriormente especificados, sin excepción alguna.

7. Método de prueba

7.1 Método de muestreo

Esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 no define un método de muestreo para determinar la cantidad de vialidades en las que se deben medir los niveles de iluminación para verificar el cumplimiento de las especificaciones indicadas en la Tabla 3. Para fines de aplicación, se debe consultar lo dispuesto en el Capítulo 9 de la presente propuesta.

7.2 Instrumentos de medición

Para verificar los niveles de iluminación de la instalación se debe emplear un luxómetro que tenga un detector fotosensible con corrección cosenoidal y con corrección de color –desviación máxima de $\pm 5\%$ respecto a la función fotópica–, además debe tener una exactitud de $\pm 5\%$ considerando la incertidumbre por calibración. El luxómetro debe ser presentado con su certificado de calibración vigente de acuerdo a lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Los luxómetros que tengan diferentes escalas de medición deben ser ajustados para medir en la escala apropiada; se recomienda al menos una escala para medir valores menores a 200 lx.

7.3 Método de medición

7.3.1 Potencia de los equipos

En caso de que los equipos requieran para su operación el uso de un controlador –ya sea balastro, generador de alta frecuencia, controlador para LEDs o algún otro–, la carga conectada debe calcularse considerando la potencia de entrada del controlador (potencia del conjunto).

El fabricante o proveedor deben demostrar el valor de la potencia de entrada de cada uno de los de modelos y potencias de equipos, para lo cual debe presentar los informes de prueba correspondientes que hayan sido expedidos por un laboratorio acreditado en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Dependiendo del tipo de tecnología, las pruebas para determinar la potencia de entrada de los equipos deben realizarse de acuerdo a lo establecido en las versiones vigentes de las siguientes normas:

- a) Lámparas de alta intensidad de descarga: Con base en la norma NMX-J-530-ANCE-2008 “Iluminación - Guía para la medición de características eléctricas y fotométricas para lámparas de descarga en alta intensidad”, o en su defecto de acuerdo al método IES LM-51 “Approved Method for Electrical and Photometric Measurements of High Intensity Discharge Lamps”.
- b) Lámparas de inducción electromagnética: De acuerdo a la NMX-J-198-ANCE-2005 “Productos eléctricos - Iluminación - Balastos para lámparas fluorescentes - Métodos de prueba”. Se debe considerar que el sistema debe estar energizado durante una hora antes de realizar las mediciones, con el objeto de estabilizar el funcionamiento de la lámpara.
- c) Luminarios de LEDs: Con base en lo especificado en el Apéndice A de la norma NOM-030-ENER-2012 Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba.

7.3.2 Niveles de iluminación

7.3.2.1 Niveles de iluminación en vialidades. Para verificar los niveles de iluminación de vialidades se deben realizar mediciones de iluminancia en la instalación mediante el método de los nueve puntos. Las Figuras 1, 2, 3 y 4 muestran la ubicación de los puntos donde se debe medir la iluminancia dependiendo de la configuración de los luminarios; en estas figuras, la letra “a” indica el ancho de calle y la letra “d” la distancia interpostal.

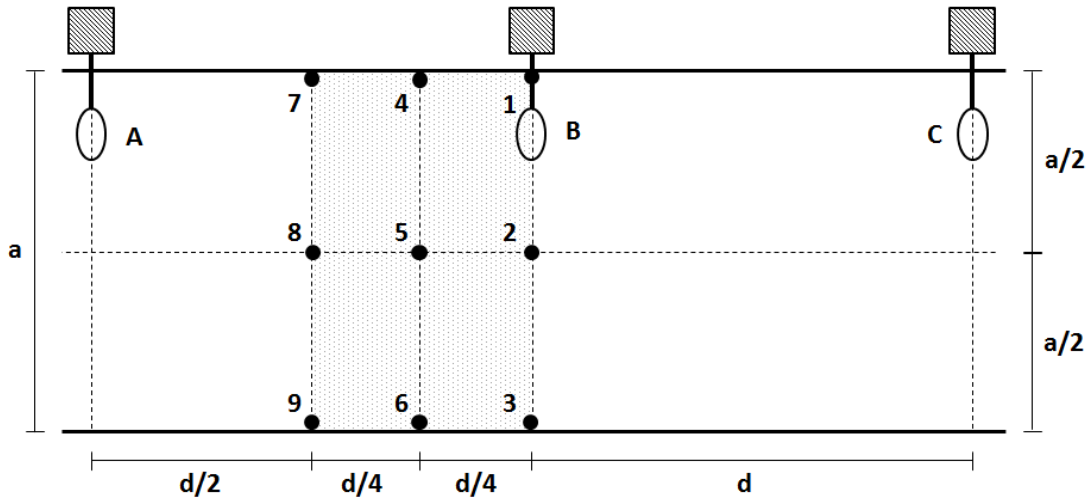


Figura 1. Ubicación de los nueve puntos de medición con luminarios instalados en configuración unilateral

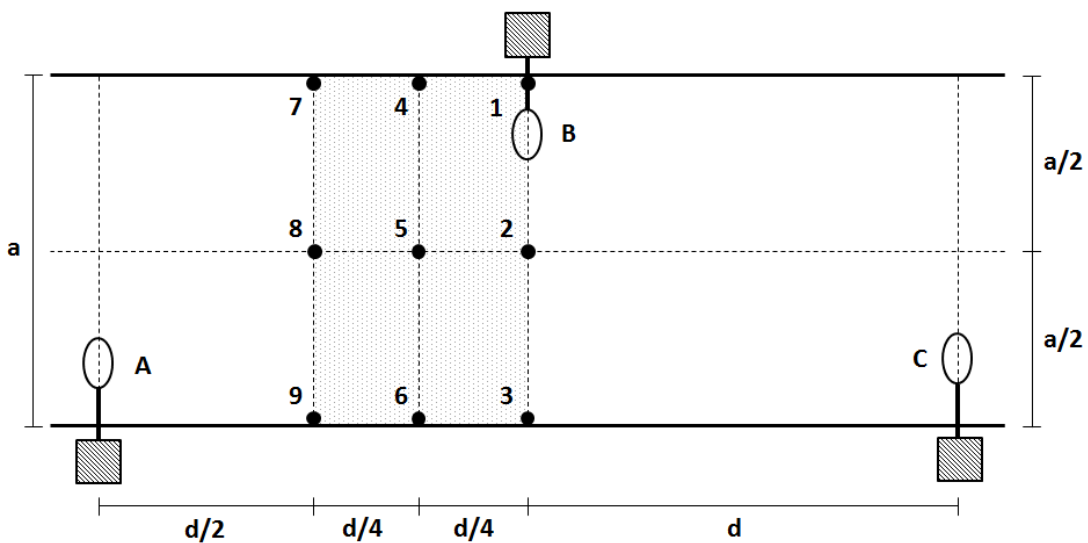


Figura 2. Ubicación de los nueve puntos de medición con luminarios instalados en configuración bilateral apareada

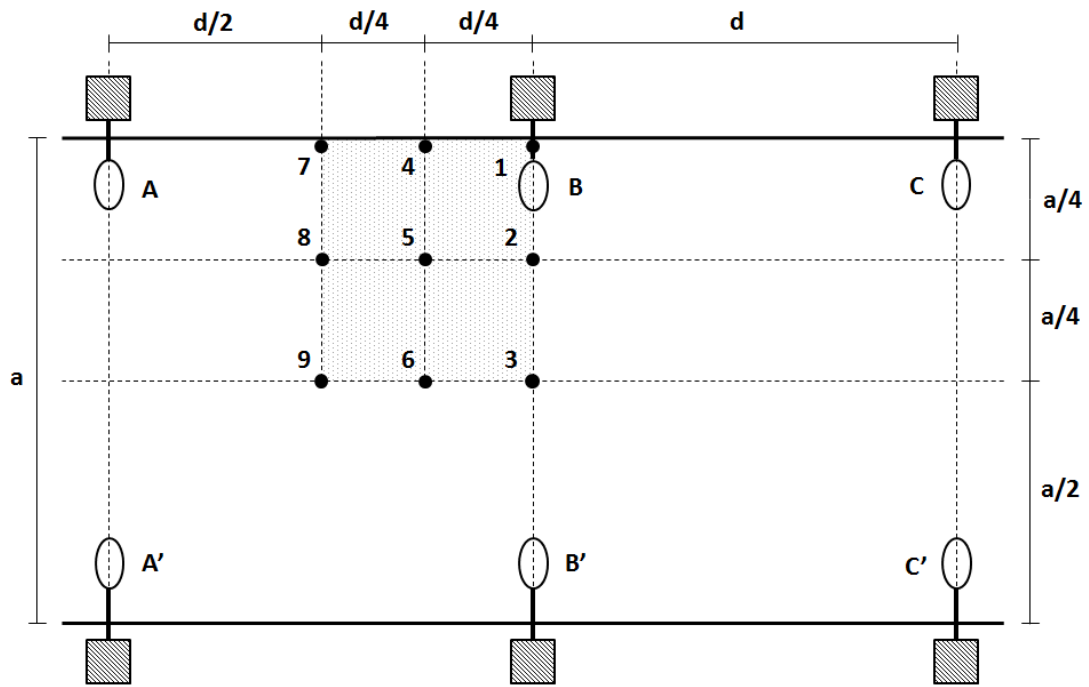


Figura 3. Ubicación de los nueve puntos de medición con luminarios instalados en configuración bilateral

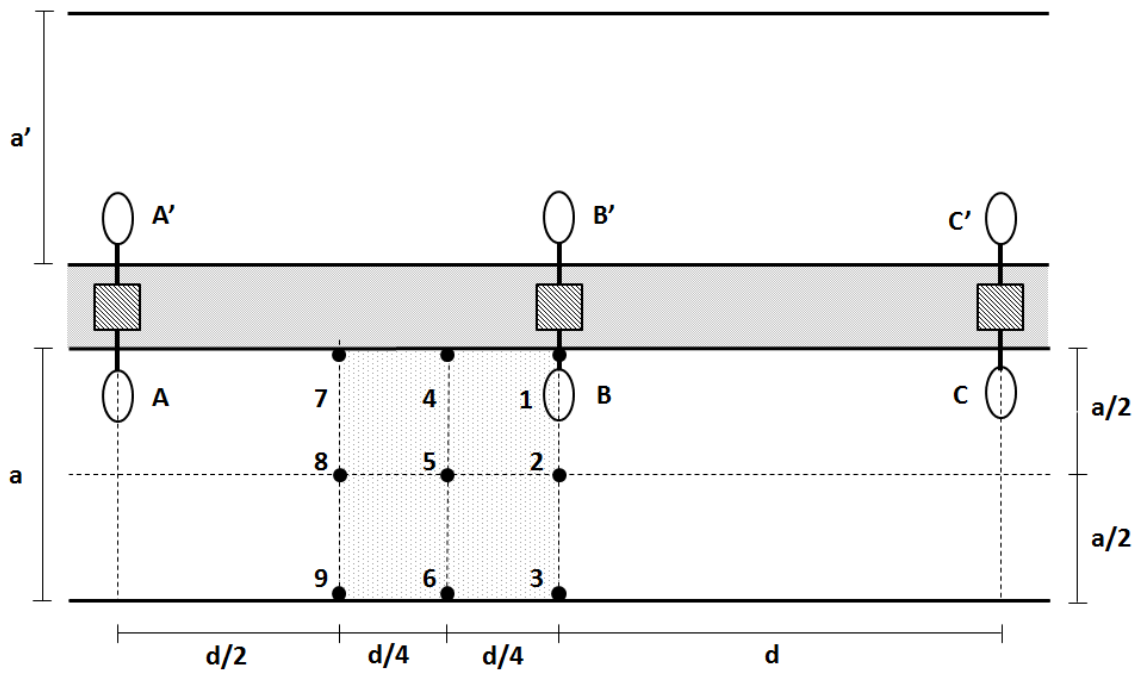


Figura 4. Ubicación de los nueve puntos de medición con luminarios instalados en configuración central doble

Al realizar las mediciones en la instalación deben estar encendidos al menos los luminarios de la vialidad que se encuentren a una distancia equivalente a la distancia interpostal, medida desde cualquiera de los nueve puntos de medición.

En las vialidades con dos sentidos de circulación, las mediciones deben realizarse para cada sentido en forma independiente, con excepción de los contraflujos.

7.3.2.2 Niveles de iluminación en aceras. Para verificar los niveles de iluminación en aceras se deben realizar mediciones de iluminancia en cuatro puntos, tal como se indica en la Figura 5; en esta figura la letra “b” indica el ancho de la acera y la letra “d” la distancia interpostal.

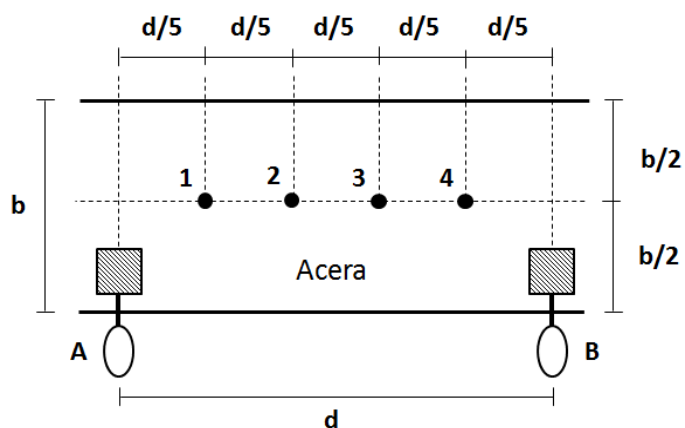


Figura 5. Ubicación de los puntos de medición para verificar los niveles de iluminación en aceras

7.3.2.3 Consideraciones para la medición de los niveles de iluminación. Al realizar las mediciones de los niveles de iluminación en la instalación se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- El instrumento de medición debe cumplir con lo establecido en el apartado 7.2 de esta propuesta.
- Las mediciones deben tomarse al nivel del piso, sin que algún objeto o persona obstruyan la luz emitida por los luminarios.
- Los luminarios deben encenderse una hora antes de realizar las mediciones con el objetivo de que se establezca su salida de luz.
- Se recomienda que el lugar donde se realicen las mediciones no tenga contribuciones de luz de sistemas de iluminación ajenos que puedan afectar el resultado de las mediciones.
- Considerando que las fuentes de luz alcanzan su flujo luminoso inicial después de 100 horas de envejecimiento, se recomienda que los luminarios que se instalen en los lugares de medición sean envejecidos previamente.
- Los niveles de iluminancia promedio para vialidades y aceras deben obtenerse de acuerdo a lo establecido en el apartado 7.4.2 de esta propuesta.

7.4 Método de cálculo

7.4.1 Densidad de potencia eléctrica para alumbrado

Para determinar si un sistema cumple con los valores establecidos en la Tabla 1, se debe calcular su densidad de potencia eléctrica para alumbrado de acuerdo a la siguiente expresión:

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}}$$

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

En caso de que los equipos requieran para su operación el uso de un controlador –ya sea balastro, generador de alta frecuencia, controlador para LEDs o algún otro–, la carga total conectada debe calcularse empleando la potencia de entrada del controlador. Si se instala un sistema de atenuación, se debe tomar en cuenta el promedio ponderado de la potencia de entrada del controlador de acuerdo a los niveles de potencia establecidos en los diferentes horarios de operación.

El área total iluminada se debe calcular considerando únicamente el área correspondiente a la vialidad, no debe tomarse en cuenta la superficie de las aceras o camellones en el cálculo.

7.4.2 Nivel de iluminación

Para evaluar si los niveles de iluminación de una instalación cumplen con lo especificado en esta propuesta, se debe emplear el siguiente método de cálculo, el cual no debe ser considerado como un método de diseño.

7.4.2.1 Nivel de iluminancia promedio. El nivel de iluminancia promedio se debe calcular empleando las mediciones de iluminancia realizadas en la instalación conforme a lo establecido en el apartado 7.3.2.

Para determinar la iluminancia promedio en vialidades se debe emplear la siguiente expresión:

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

Donde $E_1, E_2, E_3, \dots, E_9$ son los valores de iluminancia obtenidos en cada uno de los nueve puntos medición de acuerdo a los establecido en el apartado 7.3.2.1.

El nivel de iluminancia promedio en aceras debe calcularse como la media aritmética de los valores medidos en los cuatro puntos de medición indicados en la Figura 5.

7.4.2.2. Nivel mantenido de iluminancia promedio. El nivel mantenido de iluminancia promedio se debe determinar a partir de la depreciación del flujo luminoso (DFL) y el factor de depreciación por ensuciamiento del luminario (F_E), como se indica en la siguiente expresión:

$$\text{Nivel mantenido de iluminancia promedio} = E_{prom} \times DFL \times F_E$$

Dependiendo de la tecnología, la depreciación del flujo luminoso que se debe emplear para el cálculo de la iluminancia promedio mantenida es el valor medio a las 12 000 horas que se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de depreciación del flujo luminoso para diferentes tecnologías

Tipo de lámpara	Vida nominal (Horas)	DFL media a las 12 000 horas de vida
Aditivos metálicos de arranque por pulso	10 000 a 20 000	0,650
Aditivos metálicos cerámicos	15 000 a 30 000	0,735
Inducción electromagnética	60 000 a 100 000	0,900
LEDs	35 000 a 50 000	0,920
Vapor de sodio alta presión	18 000 a 32 000	0,875
Vapor de sodio alta presión optimizado	28 000 a 36 000	0,895

Para determinar el nivel mantenido de iluminancia promedio se debe considerar un valor mínimo de 0,90 para la depreciación por ensuciamiento del luminario.

7.4.2.3 Nivel mantenido de iluminancia mesópica promedio. Para obtener el nivel mantenido de iluminancia mesópica promedio se debe considerar el tipo de pavimento de la vialidad y la relación S/P de la fuente de luz.

En la Tabla 5 se muestra la clasificación de los tipos de pavimento con base en su reflectancia (ρ) y sus características generales.

Tabla 5. Clasificación de los tipos de pavimento para vialidades

Clase	ρ	Descripción	Tipo de Reflectancia
R ₁	0,1	Superficie de concreto, cemento portland, superficie de asfalto difuso con un mínimo de 15% de agregados brillantes artificiales.	Casi difuso
R ₂	0,07	Superficie de asfalto con un agregado compuesto de un mínimo de 60% de grava de tamaño mayor que 10 mm. Superficie de asfalto con 10 a 15% de abrillantador artificial en la mezcla agregada.	Difuso especular
R ₃	0,07	Superficie de asfalto regular y con recubrimiento sellado, con agregados oscuros tal como roca o roca volcánica, textura rugosa después de algunos meses de uso (Típico de autopistas).	Ligeramente especular
R ₄	0,08	Superficie de asfalto con textura muy tersa.	Muy especular

Para cada fuente de luz empleada en el proyecto, el fabricante o proveedor deben presentar un informe de prueba de un laboratorio acreditado en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización en el que se indique el valor de la relación S/P. En caso de no presentar los informes de prueba respectivos, se deben utilizar los valores medios de relación S/P indicados en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores de relación S/P para diferentes tecnologías

Tipo de lámpara	TCC	S/P media
Aditivos metálicos de arranque por pulso	menor a 3500 K	1,49
	de 3500 K a 4000 K	1,60
	mayor a 4000 K	1,71
Aditivos metálicos cerámicos	menor a 3000 K	1,26
	mayor a 3000 K	1,34
Inducción electromagnética	2700 K	1,15
	4000 y 4100 K	1,62
	5000 K	1,94
LEDs	de 3500 K a 4500 K	1,59
	de 4501 K a 5500 K	1,78
	mayor a 5500 K	2,04
Vapor de sodio de alta presión	hasta 2200 K	0,64

Para determinar el nivel mantenido de iluminancia mesópica promedio se debe convertir el valor del nivel mantenido de iluminancia promedio conforme a las Tablas A1, A2 y A3 incluidas en el Apéndice A, en función del tipo de pavimento de la vialidad y la relación S/P de la fuente de luz. En el caso de las aceras se debe emplear la Tabla A1 correspondiente al tipo de pavimento R₁. Para valores intermedios a los presentados en las tablas A1, A2 y A3 se debe tomar el valor más cercano disponible, por exceso o por defecto.

Los valores obtenidos para los niveles mantenidos de iluminancia mesópica promedio deben cumplir con lo establecido en la Tabla 3 de esta propuesta.

7.4.3 Relaciones de uniformidad

Para verificar las relaciones de uniformidad de las vialidades, se deben identificar los valores de iluminancia mínima y máxima de los nueve puntos de medición; tomando en cuenta el valor del nivel de iluminancia promedio se deben calcular las siguientes relaciones:

$$\frac{E_{promedio}}{E_{mínima}} \quad \frac{E_{máxima}}{E_{mínima}}$$

Los valores para cada relación deben cumplir con lo establecido en la Tabla 3 de esta propuesta.

8. Vigilancia.

La Secretaría de Energía a través de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, conforme a sus atribuciones y en el ámbito de su competencia, es la autoridad que está a cargo de vigilar y verificar el cumplimiento de esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004:

- a) Durante el proceso de aprobación del proyecto.
- b) Al término de la implementación del proyecto.
- c) Durante la vida útil del proyecto.

El cumplimiento de la presente propuesta actualización no releva ninguna responsabilidad en cuanto a la observancia de lo dispuesto en otras normas oficiales mexicanas y reglamentos existentes aplicables a instalaciones destinadas al suministro y uso de energía eléctrica.

El incumplimiento de la presente propuesta de Norma Oficial Mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, su Reglamento y demás disposiciones legales aplicables.

9. Procedimiento para la evaluación de la conformidad

De conformidad con los artículos 68 primer párrafo, 70 fracción I y 73 de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización, se establece el presente Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad.

9.1 Objetivo

Este Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad (PEC) se establece para facilitar y orientar a las Unidades de Verificación (UV) y a los usuarios de energía eléctrica, en la aplicación de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en viviendas, en adelante propuesta de NOM.

9.2 Referencias

Para la correcta aplicación de este PEC es necesario consultar los siguientes documentos vigentes:

- Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN)
- Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (RLFMN)
- Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)
- Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (RLSPEE)

9.3 Definiciones

Para los efectos de este PEC, se entenderá por:

9.3.1 Acta circunstanciada: Documento expedido por una UV en cada una de las visitas de verificación de los sistemas de alumbrado, en el cual se hará constar como mínimo: hora, día, mes y año del inicio y de la conclusión de la visita de verificación; nombre, denominación o razón social del usuario, calle y número, población o colonia, municipio o delegación, código postal y entidad federativa, en que se

encuentre ubicado el lugar en que se practique la visita de verificación; dos testigos con datos de identificación oficial; nombre y cargo de la persona con quien se entiende la diligencia; y nombre y firma de quienes la llevaron a cabo y los datos relativos a la actuación y declaración del visitado, si quisiera hacerla, mismos que documenta como evidencia objetiva de la evaluación de la conformidad con la propuesta de NOM.

9.3.2 Autoridad competente: Secretaría de Energía (SE); Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), conforme a sus atribuciones.

9.3.3 Usuario de energía eléctrica, en adelante (usuario): Persona física o moral o representante legal, responsable de la instalación para la que se solicita el servicio de verificación de los sistemas de alumbrado.

9.3.4 Dictamen de verificación: Documento que emite la UV y firma bajo su responsabilidad, en el cual consta el cumplimiento de la instalación con la propuesta de NOM en un momento dado, así como los datos relativos a la instalación.

9.3.5 Evaluación de la conformidad: La determinación del grado de cumplimiento de la instalación con la propuesta de NOM, mediante la verificación.

9.3.6 Informe técnico: Documentación que incluye: listas de verificación, informes de resultados y, en su caso, el informe de incumplimientos fundamentados en la propuesta de NOM y las evidencias objetivas efectuadas por el usuario.

9.3.7 Lista de verificación: Documentos que utiliza la UV, en la verificación del proyecto (examen de documentos) y en cada visita de verificación, como evidencia objetiva de la evaluación de la conformidad con la propuesta de NOM.

9.3.8 Plano eléctrico: Representación gráfica de las diferentes partes de una instalación eléctrica, incluyendo el sistema de alumbrado.

9.3.9 Proyecto del sistema de alumbrado: Conjunto de documentos correspondientes a una instalación del sistema de alumbrado que se ha de construir o a partir de los cuales se ha construido. Los documentos son: los planos eléctricos, cuadros de cargas del sistema de alumbrado, memoria de cálculo donde se detallan las densidades de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA), los niveles de iluminancia y las relaciones de uniformidad obtenidas de acuerdo con el método establecido en la propuesta de NOM; características técnicas de los componentes del sistema de alumbrado (lámparas, balastos, sistemas de control para el alumbrado), informes de pruebas de acuerdo a los especificado en la propuesta de NOM y el plano general de las instalaciones que permita determinar el área total iluminada a considerar, así como toda la información que pueda ayudar a evaluar el sistema de alumbrado. Esta información debe ir firmada por el responsable del proyecto.

9.3.10 Responsable del proyecto: Persona física que sea ingeniero electricista, ingeniero mecánico electricista o ingeniero en ramas afines con especialidad en ingeniería eléctrica, titulado con cédula profesional, con conocimientos para diseñar, calcular y supervisar, la instalación de un sistema de alumbrado para vialidades.

9.3.11 Representante legal: persona física o moral que actúa a nombre del propietario del inmueble, de conformidad con un poder otorgado a su favor.

9.3.12 Sistema de alumbrado: Conjunto de equipos, aparatos y accesorios que, ordenadamente relacionados entre sí, contribuyen a suministrar luz artificial a una superficie o un espacio.

9.3.13 Unidad de Verificación (UV): La persona física o moral que realiza actos de verificación, conforme a lo dispuesto en la LFMN, que se encuentra debidamente acreditada y aprobada para verificar el cumplimiento con la propuesta de NOM.

9.3.14 Verificación: La constatación ocular o comprobación mediante muestreo, medición, pruebas de laboratorio, o examen de documentos, que se realizan para evaluar la conformidad en un momento determinado.

9.3.15 Visita de verificación: La visita que se efectúe al sitio donde se encuentre instalado el sistema de alumbrado, con el objeto de verificar su cumplimiento con la propuesta de NOM.

9.4 Disposiciones generales

9.4.1 La evaluación de la conformidad debe realizarse por unidades de verificación, acreditadas y aprobadas en la propuesta de NOM conforme lo dispuesto en la LFSMN.

9.4.2 El usuario debe solicitar la evaluación de la conformidad con la propuesta de NOM a la UV de su preferencia, cuando lo requiera para dar cumplimiento a las disposiciones legales o para otros fines de su propio interés. Se recomienda al usuario, que lleve a cabo evaluaciones periódicas de sus instalaciones, para comprobar el grado de cumplimiento con las normas aplicables.

9.5 Procedimiento

9.5.1 El usuario debe solicitar a la UV, que haya elegido, la evaluación de la conformidad del sistema de alumbrado con la NOM.

9.5.2 La UV, de común acuerdo con el usuario, debe establecer los términos y las condiciones de los trabajos de verificación. El usuario debe entregar a la UV la información necesaria para realizar la verificación de acuerdo a lo establecido en el capítulo 6 de este PEC, independientemente de la que se acuerde en los términos y las condiciones de los trabajos de verificación.

9.5.3 La evaluación de la conformidad de los sistemas de alumbrado, sujetos al cumplimiento de la propuesta de NOM, deben considerar, la verificación del cumplimiento del proyecto del sistema de alumbrado y la verificación, en sitio, del cumplimiento del sistema de alumbrado ya instalado.

9.5.4 La verificación puede realizarse en etapas durante la instalación del sistema de alumbrado o con el sistema de alumbrado ya instalado, en cualquiera de los casos se debe expedir el acta circunstanciada y el informe técnico, de cada visita de verificación.

9.5.5 La UV, en coordinación con el usuario, debe encargarse de definir los lugares en los que se deben realizar las mediciones para verificar los niveles de iluminación. Las mediciones realizadas en las instalaciones deben ser representativas de al menos el 80% del total de los luminarios instalados como parte del proyecto, para ello la UV debe hacer algunas visitas de reconocimiento de las instalaciones, además de considerar el tipo de vialidad, ancho de calle, distancia interpostal, altura de montaje y los equipos instalados.

9.5.6 Si la instalación cumple con lo establecido en la propuesta de NOM, la UV debe entregar al usuario, original y copia del dictamen de verificación, así como original de la portada elaborada como se indica en el acuerdo que establece el formato de portada de los dictámenes de verificación de las instalaciones eléctricas, en los servicios de alta tensión y lugares de concentración pública, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 10 de enero de 2002 o el que lo sustituya. El dictamen debe elaborarse con base en el formato indicado en el Anexo A de este PEC.

9.5.7 Si la instalación no cumple con lo establecido en la propuesta de NOM, la UV debe informar al usuario y asentar en el acta circunstanciada, en el informe técnico y en la lista de verificación, los hallazgos (observaciones o no conformidades) encontrados, tanto en la verificación del cumplimiento del proyecto del sistema de alumbrado (planos y memoria de cálculo), como en la verificación, en sitio, del cumplimiento del sistema de alumbrado ya instalado y entregar copia al usuario de dichos documentos. De común acuerdo con el usuario se debe establecer el plazo para que se realicen las modificaciones pertinentes.

9.5.8 Los usuarios a quienes se haya levantado un acta circunstanciada, pueden formular observaciones en el acto de la diligencia y ofrecer pruebas en relación con los hechos contenidos en éstas o, por escrito, hacer uso de tal derecho dentro del término de 5 días siguientes a la fecha en que se haya levantado.

9.5.9 El usuario debe realizar, dentro del plazo acordado, las modificaciones pertinentes y avisar a la UV para que verifique nuevamente el proyecto del sistema de alumbrado y/o la instalación. En caso de no cumplirse nuevamente, se puede repetir el proceso hasta lograr que el sistema de alumbrado cumpla con la propuesta de NOM.

9.5.10 Los trabajos de verificación concluyen con la entrega del Dictamen de Verificación al usuario.

9.5.11 El usuario debe entregar el original de la portada y del Dictamen de Verificación al suministrador de energía eléctrica para que le proporcione el servicio, de acuerdo a lo establecido en el artículo 28 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

9.6 Aspectos técnicos específicos del proyecto del alumbrado a verificar

9.6.1 Para llevar a cabo la verificación, el usuario debe entregar el proyecto del sistema de alumbrado.

9.6.2 La verificación del proyecto y la instalación debe considerar como mínimo:

9.6.2.1 Características de la vialidad: Tipo de vialidad, tipo de pavimento, distancia interpostal y ancho de calle, altura de monedaje, metros cuadrados de la superficie a iluminar.

9.6.2.2 Características de los equipos: Tipo de fuente de luz, relación S/P, potencia nominal de la fuente de luz, tipo de controlador, potencia de entrada del controlador y cantidad de equipos.

9.6.2.3 Mediciones y resultados de la verificación: Mediciones de iluminancia en la instalación, valores de DPEA, niveles mantenidos de iluminancia mesópica promedio y relaciones de uniformidad.

9.7. Diversos

9.7.1 Se recomienda a los usuarios de las instalaciones eléctricas realizar evaluaciones periódicas de los mismos, para comprobar su cumplimiento con las normas oficiales mexicanas que apliquen.

9.7.2 Para efectos de la contratación del servicio de energía eléctrica se sujetará a lo dispuesto en la LSPEE y el RLSPEE.

9.7.3 Los dictámenes de verificación de las UV serán reconocidos por la Secretaría de Energía. Para fines administrativos (contratación del suministro de energía eléctrica), dicho dictamen de verificación debe aceptarse siempre que no hayan transcurrido más de 12 meses a partir de la fecha de expedición de éste. El dictamen será válido durante la vida útil del proyecto, mientras de que no se realice una ampliación al sistema de alumbrado, independientemente de su tamaño y carga conectada; los niveles de iluminación pueden ser objeto de verificaciones posteriores aun después de emitido el dictamen.

9.7.4 Las UV con acreditación y aprobación vigentes, pueden consultarse en los listados emitidos en el Diario Oficial de la Federación por la Secretaría de Economía.

9.7.5 La violación a cualquiera de las disposiciones establecidas en este PEC, así como a lo establecido en los artículos 112, 112-A; 118 fracciones I, II y III, y 119 fracciones I a IV de la LFMN, motivará multa, suspensión o revocación de la aprobación de la UV.

9.7.6 Los gastos que se originen por los servicios de verificación, por actos de evaluación de la conformidad, serán a cargo del usuario conforme a lo establecido en el artículo 91 de la LFMN.

9.8 Documentación

9.8.1 Con fundamento en los artículos 73, 84, 85, 86, 87 y 88 de la LFMN y 80 de su Reglamento, la UV debe entregar o enviar a la CONUEE, dentro de los primeros veinte días siguientes al vencimiento de cada trimestre del año calendario, un informe de dictámenes de verificación emitidos en el periodo. En el caso de no haber emitido ningún dictamen durante el trimestre, deberá notificarlo por escrito por el conducto y en el plazo antes citado. La CONUEE podrá establecer un sistema alternativo para el envío y recepción de los informes de dictámenes de verificación antes mencionados.

9.8.2 La UV debe llevar registros de las solicitudes de servicio recibidas y de los contratos de servicios de verificación celebrados.

9.8.3 La UV debe conservar durante cinco años para aclaraciones o auditorías, registros de los siguientes documentos que harán evidencia objetiva, para fines administrativos y legales.

- a) Solicitud de servicios de verificación.
- b) Contratos de servicios de verificación.
- c) Actas circunstanciadas.
- d) Informes técnicos.
- e) Copia de los dictámenes de verificación emitidos.
- f) Proyecto eléctrico que incluya un cuadro resumen del cálculo de las densidades de potencia eléctrica para alumbrado.

9.8.4 Los documentos deben mantenerse en el archivo activo disponible en el domicilio de la UV, como mínimo dos años a partir de su fecha de emisión, al término de los cuales se pueden enviar al archivo pasivo, pero en cualquier caso, deben mantenerse en el mencionado archivo pasivo, tres años como mínimo, antes de poder proceder a su destrucción.

ANEXO A

Dictamen de verificación de los sistemas de alumbrado de vialidades

Propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 3o. fracciones IV-A, XVII, 68, 70, 70-C, 73, 74, 84, 85, 86, 87, 88, 91, 92, 94, 97, 98 y 99 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28 y 29 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica; 56, 57 y 58 de su Reglamento y demás disposiciones legales aplicables, en mi carácter de representante legal de la Unidad de Verificación con registro número: _____, con acreditación vigente de fecha: _____ otorgada por la Entidad de Acreditación Autorizada y aprobación vigente de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía otorgada en oficio No. _____ de fecha: _____ y habiéndose aplicado el procedimiento para la evaluación de la conformidad correspondiente a los sistemas de alumbrado en edificios no residenciales que se describen a continuación:

Dictamen No.: _____ Fecha: _____

Nombre o razón social del propietario: _____

Giro de la instalación: _____

Tipo de proyecto: Instalación nueva () Modificación () Ampliación ()

Tipo de vialidad: _____

Ancho de calle (m): _____ Distancia Interpostal (m): _____ Altura de montaje (m): _____

Tecnología instalada: _____ Relación S/P de la fuente de luz: _____

Potencia nominal de la fuente de luz (W): _____ Cantidad de equipos: _____

Tipo de controlador: _____ Potencia de entrada del controlador (W): _____

Carga conectada para alumbrado (kW): _____ Área total iluminada (m²): _____ DPEA (W/m²): _____

Mediciones de iluminancia con el método de los nueve puntos (lx):

P1: _____ P2: _____ P3: _____ P4: _____ P5: _____ P6: _____ P7: _____ P8: _____ P9: _____

Iluminancia promedio (lx): _____ Relaciones de uniformidad: max/min: _____ prom/min: _____

DFL: _____ Factor de ensuciamiento: _____ Nivel mantenido de iluminancia promedio (lx): _____

Nivel mantenido de iluminancia mesópica promedio (lx_{mes}): _____

Ubicación de la instalación: _____

Calle y No.: _____ Colonia y Población: _____

Municipio o Delegación: _____

Ciudad y Estado: _____ Código Postal: _____

Propietario o representante: _____

Nombre: _____

Teléfono: _____ Fax: _____

Correo Electrónico: _____

CERTIFICO, en los términos establecidos en el artículo 28 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, que los sistemas de alumbrado en cuestión cumplen con las disposiciones aplicables de propuesta de actualización de la norma oficial mexicana NOM-013-ener-2004, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas.

Declaro bajo protesta de decir verdad, que los datos asentados en el presente Dictamen de Verificación son verdaderos, acepto la responsabilidad que pudiera derivarse de la veracidad de los mismos, haciéndome acreedor a las sanciones que, en su caso, procedan.

EL TITULAR O REPRESENTANTE LEGAL DE LA UNIDAD DE VERIFICACION

Nombre y Firma

Domicilio: _____

Teléfono: _____

Fax: _____

Correo electrónico: _____

10. Bibliografía

- Commission Internationale de L'Eclairage. CIE 191:2010 Recommended System for Mesopic Photometry based on Visual Performance. Technical Report. 2010
- Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies. ASSIST recommends... Volume 6 Issue 2 Outdoor Lighting: Visual Efficacy. 2009
- Illuminating Engineering Society of North America. IES LM-79-08 IES Approved Method for Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products. 2008.
- Illuminating Engineering Society of North America. IES TM-12-06 Spectral Effects of Lighting on Visual Performance at Mesopic Light Levels. 2006
- Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad de la Norma Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2004, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 9 de agosto de 2006.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones Eléctricas (Utilización), publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de marzo de 2006.
- Helsinki University of Technology. Performance based Model for Mesopic Photometry. 2005.
- Illuminating Engineering Society of North America. IES RP-8-00 Reaffirmed 2005 American National Standard Practice for Roadway Lighting. 2005.
- Norma Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2004 Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de abril de 2005.
- Rea Mark, et al. A proposed Unified System of Photometry. Lighting Research Center. 2003
- Commission Internationale de L'Eclairage. CIE 140:2000 Road Lighting Calculations. Technical Report. 2000.
- Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de enero de 1999.
- Ley Federal sobre Metrología y Normalización, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de julio de 1992 y sus reformas.
- NMX-Z-013/1977 Guía para la redacción, estructuración y presentación de las Normas Oficiales Mexicanas, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de octubre de 1977.

11. Concordancia con normas internacionales

Esta propuesta de Norma Oficial Mexicana no concuerda con ninguna Norma Internacional, por no existir referencia alguna en el momento de su elaboración.

APÉNDICE A

NORMATIVO

Tablas de conversión a iluminancia mesópica

Tabla A1. Valores de iluminancia mesópica para pavimentos tipo R₁ (I_{x,mes})

S/P	Iluminancia fotópica [lx]																			
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0
0,40	1,03	1,45	1,87	2,30	2,74	3,18	3,62	4,07	4,52	4,97	5,42	5,88	6,33	6,79	7,26	7,72	8,18	8,65	9,11	9,58
0,45	1,08	1,50	1,93	2,37	2,81	3,25	3,70	4,15	4,61	5,06	5,52	5,98	6,44	6,90	7,37	7,84	8,30	8,77	9,24	9,71
0,50	1,12	1,55	1,99	2,43	2,88	3,33	3,78	4,23	4,69	5,15	5,61	6,08	6,54	7,01	7,48	7,95	8,42	8,89	9,36	9,83
0,55	1,16	1,60	2,05	2,49	2,94	3,40	3,85	4,32	4,78	5,24	5,71	6,18	6,64	7,11	7,59	8,06	8,53	9,00	9,48	9,96
0,60	1,20	1,65	2,10	2,55	3,01	3,47	3,93	4,40	4,86	5,33	5,80	6,27	6,74	7,22	7,69	8,17	8,64	9,12	9,60	10,08
0,65	1,24	1,70	2,15	2,61	3,08	3,54	4,01	4,48	4,95	5,42	5,89	6,37	6,84	7,32	7,80	8,28	8,76	9,24	9,71	10,19
0,70	1,28	1,74	2,21	2,67	3,14	3,61	4,08	4,56	5,03	5,51	5,98	6,46	6,94	7,42	7,90	8,38	8,87	9,35	9,83	10,31
0,75	1,32	1,79	2,26	2,73	3,20	3,68	4,15	4,63	5,11	5,59	6,07	6,55	7,03	7,52	8,00	8,49	8,97	9,46	9,95	10,43
0,80	1,36	1,83	2,31	2,78	3,26	3,74	4,22	4,71	5,19	5,67	6,16	6,64	7,13	7,62	8,11	8,60	9,08	9,57	10,06	10,55
0,85	1,39	1,88	2,36	2,84	3,32	3,81	4,29	4,78	5,27	5,76	6,25	6,74	7,23	7,71	8,21	8,70	9,19	9,68	10,17	10,66
0,90	1,43	1,92	2,41	2,89	3,38	3,87	4,36	4,86	5,35	5,84	6,33	6,82	7,32	7,81	8,31	8,80	9,29	9,79	10,28	10,78
0,95	1,46	1,96	2,45	2,95	3,44	3,94	4,43	4,93	5,43	5,92	6,42	6,91	7,41	7,90	8,40	8,90	9,40	9,89	10,39	10,89
1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	10,50	11,00
1,05	1,53	2,04	2,55	3,05	3,56	4,06	4,56	5,07	5,58	6,08	6,58	7,08	7,59	8,09	8,60	9,10	9,60	10,10	10,61	11,11
1,10	1,56	2,08	2,59	3,10	3,61	4,12	4,63	5,14	5,65	6,16	6,66	7,17	7,68	8,18	8,69	9,20	9,70	10,21	10,71	11,22
1,15	1,60	2,12	2,64	3,15	3,67	4,18	4,70	5,21	5,72	6,24	6,74	7,26	7,77	8,27	8,79	9,30	9,80	10,31	10,82	11,33
1,20	1,63	2,16	2,68	3,20	3,73	4,24	4,76	5,28	5,80	6,31	6,83	7,34	7,85	8,36	8,88	9,39	9,90	10,41	10,92	11,43
1,25	1,66	2,20	2,73	3,25	3,78	4,30	4,83	5,35	5,87	6,39	6,91	7,42	7,94	8,45	8,97	9,49	10,00	10,51	11,03	11,54
1,30	1,69	2,24	2,77	3,30	3,83	4,36	4,89	5,42	5,94	6,46	6,98	7,51	8,02	8,54	9,06	9,58	10,10	10,61	11,13	11,64
1,35	1,72	2,27	2,81	3,35	3,89	4,42	4,95	5,48	6,01	6,54	7,06	7,58	8,11	8,63	9,15	9,67	10,19	10,71	11,23	11,75
1,40	1,76	2,31	2,86	3,40	3,94	4,48	5,01	5,55	6,08	6,61	7,14	7,67	8,19	8,72	9,24	9,77	10,29	10,81	11,33	11,85
1,45	1,78	2,35	2,90	3,45	3,99	4,54	5,07	5,61	6,15	6,68	7,22	7,74	8,27	8,80	9,33	9,86	10,38	10,91	11,43	11,95
1,50	1,82	2,38	2,94	3,50	4,05	4,59	5,14	5,68	6,22	6,75	7,29	7,83	8,36	8,89	9,42	9,95	10,48	11,00	11,53	12,05
1,55	1,84	2,42	2,98	3,54	4,10	4,65	5,20	5,74	6,29	6,83	7,37	7,90	8,44	8,97	9,51	10,04	10,57	11,10	11,63	12,15
1,60	1,88	2,46	3,03	3,59	4,15	4,70	5,26	5,81	6,36	6,90	7,44	7,98	8,52	9,06	9,59	10,13	10,66	11,20	11,73	12,26
1,50	1,90	2,49	3,07	3,63	4,20	4,76	5,32	5,87	6,42	6,97	7,51	8,06	8,60	9,14	9,68	10,22	10,76	11,29	11,82	12,36
1,70	1,93	2,53	3,11	3,68	4,25	4,81	5,37	5,93	6,49	7,04	7,59	8,13	8,68	9,22	9,77	10,31	10,85	11,38	11,92	12,45
1,75	1,96	2,56	3,14	3,73	4,30	4,87	5,43	5,99	6,55	7,11	7,66	8,21	8,76	9,31	9,85	10,40	10,94	11,48	12,01	12,55
1,80	1,99	2,59	3,19	3,77	4,35	4,92	5,49	6,06	6,62	7,18	7,73	8,29	8,84	9,39	9,94	10,48	11,03	11,57	12,11	12,65
1,85	2,02	2,63	3,23	3,81	4,40	4,97	5,54	6,12	6,68	7,24	7,80	8,36	8,92	9,47	10,02	10,57	11,12	11,66	12,20	12,75
1,90	2,05	2,66	3,26	3,86	4,45	5,03	5,60	6,18	6,75	7,31	7,88	8,44	8,99	9,55	10,10	10,66	11,20	11,75	12,30	12,84
1,95	2,07	2,70	3,30	3,90	4,49	5,08	5,66	6,24	6,81	7,38	7,95	8,51	9,07	9,63	10,19	10,74	11,29	11,84	12,39	12,94
2,00	2,10	2,73	3,34	3,95	4,54	5,13	5,71	6,30	6,87	7,45	8,02	8,58	9,15	9,71	10,27	10,83	11,38	11,93	12,48	13,03
2,05	2,13	2,76	3,38	3,99	4,59	5,18	5,77	6,36	6,94	7,51	8,09	8,66	9,22	9,79	10,35	10,91	11,47	12,02	12,57	13,13
2,10	2,15	2,79	3,42	4,03	4,64	5,23	5,83	6,42	7,00	7,58	8,16	8,73	9,30	9,86	10,43	10,99	11,55	12,11	12,66	13,22
2,15	2,18	2,83	3,46	4,07	4,68	5,28	5,88	6,47	7,06	7,64	8,22	8,80	9,37	9,94	10,51	11,07	11,64	12,20	12,75	13,31
2,20	2,21	2,86	3,49	4,12	4,73	5,33	5,93	6,53	7,13	7,71	8,29	8,87	9,44	10,02	10,59	11,16	11,72	12,28	12,84	13,40
2,25	2,23	2,89	3,53	4,16	4,78	5,38	5,99	6,59	7,18	7,78	8,36	8,94	9,52	10,09	10,67	11,24	11,81	12,37	12,93	13,49
2,30	2,26	2,92	3,57	4,20	4,82	5,43	6,04	6,65	7,25	7,84	8,43	9,01	9,59	10,17	10,75	11,32	11,89	12,46	13,02	13,58
2,35	2,28	2,95	3,60	4,24	4,87	5,49	6,10	6,71	7,31	7,90	8,49	9,08	9,66	10,24	10,83	11,40	11,97	12,54	13,11	13,67
2,40	2,31	2,98	3,64	4,28	4,91	5,54	6,15	6,76	7,37	7,97	8,56	9,15	9,74	10,32	10,90	11,48	12,06	12,63	13,20	13,76
2,45	2,34	3,02	3,68	4,32	4,96	5,58	6,20	6,82	7,43	8,03	8,63	9,22	9,81	10,40	10,98	11,56	12,14	12,71	13,28	13,85
2,50	2,36	3,05	3,71	4,36	5,00	5,63	6,25	6,87	7,49	8,09	8,69	9,29	9,88	10,47	11,06	11,64	12,22	12,80	13,37	13,94

Tabla A1. Valores de iluminancia mesópica para pavimentos tipo R₁ (I_{xmes})

S/P	Iluminancia fotópica [lx]																			
	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	
0,40	10,05	10,52	10,99	11,46	11,93	12,41	12,88	13,36	13,84	14,31	14,79	15,26	15,74	16,23	16,70	17,18	17,67	18,15	18,63	
0,45	10,18	10,65	11,13	11,60	12,07	12,55	13,03	13,51	13,98	14,46	14,94	15,42	15,90	16,38	16,86	17,34	17,83	18,31	18,79	
0,50	10,31	10,78	11,26	11,73	12,21	12,69	13,17	13,65	14,13	14,61	15,09	15,57	16,05	16,54	17,02	17,50	17,99	18,47	18,95	
0,55	10,43	10,91	11,39	11,87	12,35	12,83	13,31	13,79	14,27	14,75	15,24	15,72	16,20	16,69	17,18	17,66	18,14	18,63	19,12	
0,60	10,56	11,04	11,52	12,00	12,48	12,96	13,44	13,93	14,41	14,90	15,38	15,87	16,35	16,84	17,33	17,81	18,30	18,79	19,28	
0,65	10,68	11,16	11,65	12,13	12,61	13,10	13,58	14,07	14,55	15,04	15,53	16,01	16,50	16,99	17,48	17,97	18,46	18,94	19,43	
0,70	10,80	11,29	11,77	12,26	12,74	13,23	13,72	14,21	14,69	15,18	15,67	16,16	16,65	17,14	17,63	18,12	18,61	19,10	19,59	
0,75	10,92	11,41	11,90	12,38	12,87	13,36	13,85	14,34	14,83	15,32	15,81	16,30	16,79	17,29	17,78	18,27	18,76	19,25	19,74	
0,80	11,04	11,53	12,02	12,51	13,00	13,49	13,98	14,48	14,97	15,46	15,95	16,44	16,94	17,43	17,93	18,42	18,91	19,41	19,90	
0,85	11,16	11,65	12,14	12,64	13,13	13,62	14,11	14,61	15,10	15,60	16,09	16,58	17,08	17,58	18,07	18,57	19,06	19,56	20,05	
0,90	11,27	11,77	12,26	12,76	13,25	13,75	14,24	14,74	15,24	15,73	16,23	16,72	17,22	17,72	18,21	18,71	19,21	19,70	20,20	
0,95	11,39	11,88	12,38	12,88	13,38	13,87	14,37	14,87	15,37	15,87	16,36	16,86	17,36	17,86	18,36	18,86	19,36	19,85	20,35	
1,00	11,50	12,00	12,50	13,00	13,50	14,00	14,50	15,00	15,50	16,00	16,50	17,00	17,50	18,00	18,50	19,00	19,50	20,00	20,50	
1,05	11,61	12,12	12,62	13,12	13,62	14,12	14,62	15,13	15,63	16,13	16,63	17,13	17,64	18,14	18,64	19,14	19,64	20,14	20,65	
1,10	11,72	12,23	12,73	13,24	13,74	14,25	14,75	15,26	15,76	16,26	16,77	17,27	17,77	18,28	18,78	19,28	19,79	20,29	20,79	
1,15	11,83	12,34	12,85	13,35	13,86	14,37	14,87	15,38	15,89	16,39	16,90	17,40	17,91	18,42	18,92	19,42	19,93	20,43	20,94	
1,20	11,94	12,45	12,96	13,47	13,98	14,49	14,99	15,51	16,01	16,52	17,03	17,53	18,04	18,55	19,06	19,56	20,07	20,57	21,08	
1,25	12,05	12,57	13,08	13,59	14,10	14,61	15,12	15,63	16,14	16,65	17,16	17,67	18,17	18,69	19,19	19,70	20,21	20,72	21,22	
1,30	12,16	12,68	13,19	13,70	14,22	14,73	15,24	15,75	16,26	16,78	17,29	17,80	18,31	18,82	19,33	19,84	20,34	20,85	21,36	
1,35	12,27	12,78	13,30	13,82	14,33	14,84	15,36	15,87	16,39	16,90	17,41	17,93	18,43	18,95	19,46	19,97	20,48	20,99	21,50	
1,40	12,37	12,89	13,41	13,93	14,45	14,96	15,48	16,00	16,51	17,02	17,54	18,05	18,57	19,08	19,59	20,11	20,62	21,13	21,64	
1,45	12,48	13,00	13,52	14,04	14,56	15,08	15,59	16,12	16,63	17,15	17,67	18,18	18,70	19,21	19,73	20,24	20,75	21,27	21,78	
1,50	12,58	13,11	13,63	14,15	14,67	15,19	15,71	16,24	16,75	17,27	17,79	18,31	18,82	19,34	19,86	20,37	20,89	21,40	21,92	
1,55	12,69	13,21	13,74	14,26	14,78	15,31	15,83	16,35	16,87	17,39	17,91	18,43	18,95	19,47	19,99	20,51	21,02	21,54	22,05	
1,60	12,79	13,32	13,84	14,37	14,89	15,42	15,94	16,47	16,99	17,51	18,04	18,55	19,08	19,60	20,12	20,63	21,15	21,67	22,19	
1,50	12,89	13,42	13,95	14,48	15,00	15,53	16,06	16,58	17,11	17,63	18,16	18,68	19,20	19,72	20,24	20,76	21,28	21,80	22,32	
1,70	12,99	13,52	14,06	14,58	15,11	15,64	16,17	16,70	17,23	17,75	18,28	18,80	19,32	19,85	20,37	20,89	21,41	21,93	22,45	
1,75	13,09	13,63	14,16	14,69	15,22	15,75	16,28	16,81	17,34	17,87	18,40	18,92	19,45	19,97	20,50	21,02	21,54	22,06	22,58	
1,80	13,19	13,73	14,26	14,80	15,33	15,86	16,40	16,93	17,46	17,99	18,52	19,04	19,57	20,10	20,62	21,15	21,67	22,19	22,72	
1,85	13,29	13,83	14,37	14,90	15,44	15,97	16,51	17,04	17,57	18,10	18,63	19,16	19,69	20,22	20,75	21,27	21,80	22,32	22,85	
1,90	13,39	13,93	14,47	15,01	15,54	16,08	16,62	17,15	17,69	18,22	18,75	19,28	19,81	20,34	20,87	21,40	21,93	22,45	22,97	
1,95	13,48	14,03	14,57	15,11	15,65	16,19	16,73	17,27	17,80	18,33	18,87	19,40	19,93	20,46	21,00	21,52	22,05	22,58	23,10	
2,00	13,58	14,13	14,67	15,21	15,76	16,30	16,84	17,38	17,91	18,45	18,98	19,52	20,05	20,58	21,11	21,65	22,17	22,70	23,23	
2,05	13,68	14,23	14,77	15,32	15,86	16,40	16,94	17,49	18,02	18,56	19,10	19,63	20,17	20,71	21,24	21,77	22,30	22,83	23,36	
2,10	13,77	14,32	14,87	15,42	15,96	16,51	17,05	17,60	18,14	18,67	19,21	19,75	20,29	20,82	21,36	21,89	22,42	22,95	23,48	
2,15	13,87	14,42	14,97	15,52	16,07	16,61	17,16	17,70	18,25	18,79	19,33	19,86	20,40	20,94	21,48	22,01	22,54	23,08	23,61	
2,20	13,96	14,51	15,07	15,62	16,17	16,72	17,26	17,81	18,36	18,90	19,44	19,98	20,52	21,06	21,60	22,13	22,67	23,20	23,73	
2,25	14,06	14,61	15,17	15,72	16,27	16,82	17,37	17,92	18,47	19,01	19,55	20,09	20,63	21,18	21,71	22,25	22,79	23,32	23,86	
2,30	14,15	14,71	15,26	15,82	16,37	16,92	17,47	18,02	18,57	19,12	19,66	20,21	20,75	21,29	21,83	22,37	22,91	23,45	23,98	
2,35	14,24	14,80	15,36	15,92	16,47	17,02	17,58	18,13	18,68	19,23	19,77	20,32	20,86	21,41	21,95	22,49	23,03	23,57	24,10	
2,40	14,33	14,89	15,46	16,02	16,57	17,12	17,68	18,24	18,79	19,34	19,88	20,43	20,98	21,52	22,07	22,61	23,15	23,69	24,22	
2,45	14,42	14,99	15,55	16,11	16,67	17,23	17,78	18,34	18,89	19,44	19,99	20,54	21,09	21,64	22,18	22,72	23,27	23,81	24,34	
2,50	14,51	15,08	15,65	16,21	16,77	17,33	17,89	18,44	19,00	19,55	20,10	20,65	21,20	21,75	22,30	22,84	23,38	23,92	24,46	

Tabla A1. Valores de iluminancia mesópica para pavimentos tipo R₁ (I_{xmes})

S/P	Iluminancia fotópica [lx]																			
	21,0	21,5	22,0	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0	25,5	26,0	26,5	27,0	27,5	28,0	28,5	29,0	29,5	30,0	
0,40	19,11	19,59	20,08	20,56	21,05	21,53	22,01	22,50	22,99	23,47	23,96	24,45	24,93	25,42	25,91	26,40	26,89	27,38	27,87	
0,45	19,28	19,76	20,25	20,73	21,22	21,70	22,19	22,68	23,17	23,65	24,14	24,63	25,12	25,61	26,10	26,58	27,07	27,56	28,05	
0,50	19,44	19,93	20,41	20,90	21,39	21,87	22,36	22,85	23,34	23,83	24,32	24,81	25,30	25,79	26,28	26,77	27,26	27,75	28,24	
0,55	19,61	20,09	20,58	21,07	21,55	22,04	22,53	23,02	23,51	24,00	24,49	24,98	25,47	25,97	26,46	26,95	27,44	27,93	28,42	
0,60	19,77	20,25	20,74	21,23	21,72	22,21	22,70	23,19	23,68	24,17	24,66	25,15	25,65	26,14	26,63	27,13	27,62	28,11	28,60	
0,65	19,93	20,42	20,90	21,40	21,89	22,38	22,87	23,36	23,85	24,34	24,84	25,33	25,82	26,32	26,81	27,30	27,80	28,29	28,78	
0,70	20,08	20,57	21,07	21,56	22,05	22,54	23,03	23,53	24,02	24,51	25,01	25,50	25,99	26,49	26,99	27,48	27,97	28,47	28,96	
0,75	20,24	20,73	21,22	21,72	22,21	22,70	23,20	23,69	24,19	24,68	25,18	25,67	26,17	26,66	27,16	27,65	28,15	28,64	29,14	
0,80	20,40	20,89	21,38	21,88	22,37	22,87	23,36	23,86	24,35	24,85	25,34	25,84	26,34	26,83	27,33	27,83	28,32	28,82	29,31	
0,85	20,55	21,05	21,54	22,04	22,53	23,03	23,52	24,02	24,52	25,01	25,51	26,01	26,50	27,00	27,50	27,99	28,49	28,99	29,49	
0,90	20,70	21,20	21,70	22,19	22,69	23,18	23,68	24,18	24,68	25,18	25,68	26,17	26,67	27,17	27,67	28,16	28,66	29,16	29,66	
0,95	20,85	21,35	21,85	22,35	22,85	23,34	23,84	24,34	24,84	25,34	25,84	26,34	26,84	27,34	27,83	28,33	28,83	29,33	29,83	
1,00	21,00	21,50	22,00	22,50	23,00	23,50	24,00	24,50	25,00	25,50	26,00	26,50	27,00	27,50	28,00	28,50	29,00	29,50	30,00	
1,05	21,15	21,65	22,15	22,65	23,15	23,65	24,16	24,66	25,16	25,66	26,16	26,66	27,16	27,66	28,16	28,67	29,17	29,67	30,17	
1,10	21,30	21,80	22,30	22,80	23,30	23,81	24,31	24,82	25,31	25,82	26,32	26,82	27,32	27,83	28,33	28,83	29,33	29,83	30,34	
1,15	21,44	21,95	22,45	22,95	23,46	23,96	24,46	24,97	25,47	25,97	26,48	26,98	27,48	27,99	28,49	28,99	29,50	30,00	30,50	
1,20	21,59	22,09	22,60	23,10	23,61	24,11	24,61	25,12	25,63	26,13	26,63	27,14	27,64	28,15	28,65	29,15	29,66	30,16	30,66	
1,25	21,73	22,24	22,74	23,25	23,76	24,26	24,77	25,27	25,78	26,29	26,79	27,29	27,80	28,31	28,81	29,31	29,82	30,32	30,83	
1,30	21,87	22,38	22,89	23,40	23,90	24,41	24,92	25,42	25,93	26,44	26,95	27,45	27,96	28,46	28,97	29,47	29,98	30,48	30,99	
1,35	22,01	22,53	23,03	23,54	24,05	24,56	25,07	25,58	26,08	26,59	27,10	27,61	28,11	28,62	29,13	29,63	30,14	30,64	31,15	
1,40	22,15	22,67	23,18	23,68	24,19	24,71	25,21	25,72	26,23	26,74	27,25	27,76	28,26	28,77	29,28	29,79	30,30	30,80	31,31	
1,45	22,29	22,80	23,32	23,83	24,34	24,85	25,36	25,87	26,38	26,89	27,40	27,91	28,42	28,93	29,44	29,95	30,45	30,96	31,47	
1,50	22,43	22,95	23,46	23,97	24,48	24,99	25,51	26,02	26,53	27,04	27,55	28,06	28,57	29,08	29,59	30,10	30,61	31,12	31,62	
1,55	22,57	23,08	23,60	24,11	24,62	25,14	25,65	26,17	26,68	27,19	27,70	28,21	28,72	29,23	29,74	30,25	30,76	31,27	31,78	
1,60	22,70	23,22	23,74	24,25	24,77	25,28	25,79	26,31	26,82	27,33	27,85	28,36	28,87	29,38	29,90	30,40	30,92	31,43	31,93	
1,50	22,84	23,36	23,88	24,39	24,91	25,42	25,94	26,45	26,97	27,48	27,99	28,51	29,02	29,53	30,05	30,56	31,07	31,58	32,09	
1,70	22,97	23,49	24,01	24,53	25,04	25,56	26,08	26,60	27,11	27,62	28,14	28,65	29,17	29,68	30,19	30,71	31,22	31,73	32,24	
1,75	23,11	23,63	24,15	24,66	25,18	25,70	26,22	26,74	27,25	27,77	28,28	28,80	29,31	29,83	30,34	30,86	31,37	31,88	32,39	
1,80	23,24	23,76	24,28	24,80	25,32	25,84	26,36	26,88	27,39	27,91	28,43	28,94	29,46	29,98	30,49	31,00	31,52	32,03	32,54	
1,85	23,37	23,89	24,42	24,93	25,46	25,98	26,50	27,02	27,54	28,05	28,57	29,09	29,60	30,12	30,64	31,15	31,67	32,18	32,69	
1,90	23,50	24,03	24,55	25,07	25,59	26,11	26,63	27,16	27,68	28,20	28,71	29,23	29,75	30,27	30,78	31,30	31,81	32,33	32,85	
1,95	23,63	24,16	24,68	25,20	25,73	26,25	26,77	27,30	27,82	28,33	28,86	29,37	29,89	30,41	30,93	31,44	31,96	32,48	32,99	
2,00	23,76	24,29	24,81	25,34	25,86	26,39	26,91	27,43	27,95	28,48	28,99	29,51	30,03	30,56	31,07	31,59	32,11	32,62	33,14	
2,05	23,89	24,42	24,94	25,47	25,99	26,52	27,04	27,57	28,09	28,61	29,14	29,65	30,17	30,70	31,21	31,73	32,25	32,77	33,29	
2,10	24,02	24,55	25,07	25,60	26,13	26,65	27,18	27,70	28,23	28,75	29,27	29,79	30,32	30,84	31,36	31,88	32,40	32,91	33,43	
2,15	24,14	24,67	25,20	25,73	26,26	26,79	27,31	27,84	28,36	28,89	29,41	29,93	30,45	30,98	31,50	32,02	32,54	33,06	33,57	
2,20	24,27	24,80	25,33	25,86	26,39	26,92	27,44	27,97	28,50	29,02	29,55	30,07	30,59	31,12	31,64	32,16	32,68	33,20	33,72	
2,25	24,39	24,93	25,46	25,99	26,52	27,05	27,57	28,10	28,63	29,16	29,68	30,21	30,73	31,26	31,78	32,30	32,82	33,34	33,86	
2,30	24,52	25,05	25,59	26,12	26,65	27,18	27,71	28,24	28,76	29,29	29,82	30,34	30,87	31,39	31,92	32,44	32,96	33,48	34,00	
2,35	24,64	25,18	25,71	26,24	26,78	27,31	27,83	28,37	28,90	29,42	29,95	30,48	31,00	31,53	32,06	32,58	33,10	33,62	34,14	
2,40	24,77	25,30	25,84	26,37	26,90	27,44	27,97	28,50	29,03	29,56	30,09	30,61	31,14	31,67	32,19	32,72	33,24	33,76	34,28	
2,45	24,88	25,42	25,96	26,50	27,03	27,56	28,10	28,63	29,16	29,69	30,22	30,75	31,27	31,80	32,33	32,85	33,38	33,90	34,43	
2,50	25,01	25,55	26,08	26,62	27,16	27,69	28,22	28,76	29,29	29,82	30,35	30,88	31,41	31,94	32,47	32,99	33,51	34,04	34,56	

Tabla A2. Valores de iluminancia mesópica para pavimentos tipo R₂ y R₃ (I_{xmes})

S/P	Iluminancia fotópica [lx]																			
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0
0,40	0,96	1,36	1,77	2,19	2,62	3,04	3,48	3,91	4,35	4,79	5,23	5,68	6,13	6,58	7,03	7,48	7,94	8,40	8,85	9,31
0,45	1,01	1,42	1,84	2,27	2,70	3,13	3,57	4,01	4,45	4,90	5,35	5,80	6,25	6,71	7,16	7,62	8,08	8,54	9,00	9,47
0,50	1,06	1,49	1,91	2,34	2,78	3,22	3,66	4,11	4,56	5,01	5,46	5,92	6,38	6,84	7,29	7,76	8,22	8,68	9,15	9,61
0,55	1,11	1,54	1,97	2,41	2,86	3,30	3,76	4,21	4,66	5,12	5,57	6,04	6,49	6,96	7,42	7,89	8,36	8,82	9,29	9,76
0,60	1,16	1,60	2,04	2,48	2,94	3,38	3,84	4,30	4,76	5,22	5,68	6,15	6,62	7,08	7,55	8,02	8,49	8,96	9,43	9,90
0,65	1,21	1,65	2,10	2,55	3,01	3,47	3,93	4,39	4,86	5,32	5,79	6,26	6,73	7,20	7,67	8,15	8,62	9,10	9,57	10,05
0,70	1,25	1,71	2,16	2,62	3,08	3,55	4,02	4,48	4,95	5,43	5,90	6,37	6,84	7,32	7,80	8,27	8,75	9,23	9,71	10,19
0,75	1,30	1,76	2,22	2,68	3,16	3,63	4,10	4,57	5,04	5,52	6,00	6,48	6,96	7,44	7,92	8,40	8,88	9,36	9,85	10,33
0,80	1,34	1,81	2,28	2,75	3,23	3,70	4,18	4,66	5,14	5,62	6,10	6,59	7,07	7,55	8,04	8,52	9,01	9,49	9,98	10,47
0,85	1,38	1,86	2,33	2,81	3,30	3,78	4,26	4,75	5,23	5,72	6,20	6,69	7,18	7,67	8,15	8,64	9,13	9,62	10,11	10,60
0,90	1,42	1,91	2,39	2,88	3,37	3,85	4,34	4,83	5,32	5,81	6,30	6,79	7,29	7,78	8,27	8,76	9,26	9,75	10,25	10,74
0,95	1,46	1,96	2,45	2,94	3,43	3,93	4,43	4,91	5,41	5,91	6,40	6,90	7,39	7,89	8,39	8,88	9,38	9,87	10,37	10,87
1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	10,50	11,00
1,05	1,54	2,05	2,55	3,06	3,57	4,07	4,58	5,08	5,58	6,09	6,59	7,10	7,60	8,11	8,61	9,12	9,62	10,12	10,63	11,13
1,10	1,58	2,09	2,61	3,11	3,63	4,14	4,65	5,16	5,67	6,18	6,69	7,20	7,71	8,22	8,72	9,23	9,74	10,25	10,75	11,26
1,15	1,61	2,14	2,66	3,17	3,69	4,21	4,73	5,24	5,75	6,27	6,78	7,30	7,81	8,33	8,83	9,34	9,86	10,37	10,88	11,39
1,20	1,65	2,18	2,71	3,23	3,76	4,28	4,80	5,32	5,84	6,36	6,88	7,40	7,91	8,43	8,94	9,46	9,97	10,48	11,00	11,51
1,25	1,68	2,23	2,76	3,29	3,82	4,35	4,88	5,40	5,92	6,45	6,97	7,49	8,01	8,53	9,05	9,57	10,09	10,60	11,12	11,64
1,30	1,72	2,27	2,81	3,34	3,88	4,42	4,95	5,48	6,00	6,53	7,06	7,59	8,11	8,63	9,16	9,68	10,20	10,72	11,24	11,76
1,35	1,75	2,31	2,86	3,40	3,94	4,48	5,02	5,55	6,09	6,62	7,15	7,68	8,21	8,74	9,26	9,79	10,31	10,83	11,36	11,88
1,40	1,79	2,35	2,90	3,46	4,00	4,55	5,09	5,63	6,17	6,71	7,24	7,77	8,30	8,84	9,37	9,90	10,43	10,95	11,48	12,01
1,45	1,82	2,39	2,95	3,51	4,07	4,61	5,16	5,70	6,25	6,79	7,32	7,87	8,40	8,94	9,47	10,00	10,54	11,06	11,60	12,13
1,50	1,86	2,44	3,00	3,56	4,12	4,68	5,23	5,78	6,32	6,87	7,41	7,96	8,50	9,04	9,57	10,11	10,65	11,18	11,71	12,24
1,55	1,89	2,48	3,05	3,61	4,18	4,74	5,30	5,85	6,40	6,96	7,50	8,05	8,59	9,14	9,68	10,21	10,76	11,29	11,83	12,36
1,60	1,92	2,51	3,09	3,67	4,24	4,80	5,37	5,92	6,48	7,04	7,58	8,14	8,68	9,23	9,77	10,32	10,86	11,40	11,94	12,48
1,50	1,96	2,55	3,14	3,72	4,30	4,86	5,43	6,00	6,56	7,12	7,67	8,23	8,78	9,33	9,88	10,42	10,97	11,51	12,06	12,60
1,70	1,99	2,59	3,19	3,77	4,35	4,93	5,50	6,07	6,63	7,20	7,76	8,32	8,87	9,42	9,98	10,52	11,08	11,62	12,17	12,71
1,75	2,02	2,63	3,23	3,82	4,41	4,99	5,57	6,14	6,71	7,28	7,84	8,41	8,96	9,52	10,08	10,63	11,18	11,73	12,28	12,83
1,80	2,05	2,67	3,28	3,87	4,47	5,05	5,64	6,21	6,78	7,36	7,92	8,49	9,05	9,62	10,17	10,73	11,29	11,84	12,39	12,94
1,85	2,08	2,71	3,32	3,92	4,52	5,11	5,70	6,28	6,86	7,44	8,01	8,58	9,14	9,71	10,27	10,83	11,39	11,94	12,50	13,06
1,90	2,11	2,75	3,37	3,97	4,58	5,17	5,77	6,35	6,93	7,51	8,09	8,66	9,23	9,80	10,37	10,93	11,49	12,05	12,61	13,17
1,95	2,15	2,79	3,41	4,02	4,63	5,23	5,83	6,42	7,01	7,59	8,17	8,75	9,32	9,90	10,46	11,03	11,59	12,15	12,72	13,28
2,00	2,18	2,82	3,45	4,07	4,69	5,29	5,89	6,49	7,08	7,67	8,25	8,83	9,41	9,99	10,56	11,13	11,70	12,26	12,83	13,39
2,05	2,20	2,86	3,49	4,12	4,74	5,35	5,96	6,56	7,15	7,74	8,33	8,92	9,50	10,08	10,65	11,22	11,80	12,36	12,93	13,50
2,10	2,24	2,89	3,54	4,16	4,79	5,41	6,02	6,62	7,22	7,82	8,41	9,00	9,58	10,17	10,74	11,32	11,90	12,47	13,04	13,61
2,15	2,27	2,93	3,58	4,21	4,85	5,47	6,08	6,69	7,29	7,89	8,49	9,08	9,67	10,26	10,84	11,42	12,00	12,57	13,15	13,72
2,20	2,29	2,97	3,62	4,26	4,90	5,52	6,14	6,75	7,36	7,97	8,56	9,16	9,75	10,34	10,93	11,51	12,10	12,67	13,25	13,82
2,25	2,32	3,00	3,66	4,31	4,95	5,58	6,21	6,82	7,43	8,04	8,64	9,25	9,84	10,43	11,02	11,61	12,19	12,77	13,36	13,93
2,30	2,35	3,04	3,70	4,35	5,00	5,64	6,27	6,88	7,50	8,11	8,72	9,33	9,92	10,52	11,11	11,70	12,29	12,87	13,46	14,03
2,35	2,38	3,07	3,74	4,40	5,05	5,69	6,33	6,95	7,57	8,19	8,80	9,41	10,01	10,61	11,20	11,79	12,39	12,97	13,56	14,14
2,40	2,41	3,11	3,79	4,45	5,11	5,75	6,39	7,01	7,64	8,26	8,87	9,49	10,09	10,69	11,29	11,89	12,48	13,07	13,66	14,24
2,45	2,44	3,15	3,83	4,49	5,16	5,80	6,45	7,08	7,71	8,33	8,95	9,56	10,17	10,78	11,38	11,98	12,58	13,17	13,76	14,35
2,50	2,47	3,18	3,87	4,54	5,21	5,86	6,51	7,14	7,77	8,41	9,03	9,64	10,26	10,87	11,47	12,07	12,67	13,27	13,86	14,46

Tabla A2. Valores de iluminancia mesópica para pavimentos tipo R₂ y R₃ (I_{xmes})

S/P	Iluminancia fotópica [lx]																		
	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5
0,40	9,77	10,24	10,69	11,16	11,62	12,09	12,55	13,02	13,49	13,96	14,42	14,90	15,37	15,84	16,31	16,79	17,26	17,73	18,20
0,45	9,93	10,39	10,86	11,32	11,79	12,26	12,73	13,19	13,67	14,14	14,61	15,08	15,56	16,03	16,50	16,98	17,45	17,93	18,41
0,50	10,08	10,55	11,01	11,49	11,96	12,42	12,90	13,37	13,85	14,32	14,79	15,27	15,74	16,22	16,70	17,18	17,65	18,13	18,61
0,55	10,23	10,70	11,17	11,65	12,12	12,59	13,07	13,54	14,02	14,50	14,97	15,45	15,93	16,41	16,88	17,36	17,84	18,32	18,80
0,60	10,38	10,85	11,33	11,80	12,28	12,75	13,24	13,71	14,19	14,67	15,15	15,63	16,11	16,59	17,07	17,56	18,04	18,52	19,00
0,65	10,52	11,00	11,48	11,96	12,44	12,92	13,40	13,88	14,36	14,84	15,32	15,81	16,29	16,78	17,26	17,75	18,23	18,71	19,20
0,70	10,67	11,15	11,63	12,11	12,59	13,08	13,56	14,04	14,53	15,01	15,50	15,98	16,47	16,96	17,44	17,93	18,41	18,90	19,39
0,75	10,81	11,30	11,78	12,27	12,75	13,24	13,72	14,21	14,70	15,18	15,67	16,16	16,65	17,14	17,62	18,11	18,60	19,09	19,58
0,80	10,95	11,44	11,92	12,42	12,90	13,39	13,88	14,37	14,86	15,35	15,84	16,33	16,82	17,31	17,80	18,29	18,78	19,27	19,77
0,85	11,09	11,58	12,07	12,57	13,06	13,54	14,04	14,53	15,03	15,51	16,00	16,50	16,99	17,49	17,98	18,47	18,97	19,46	19,95
0,90	11,23	11,72	12,22	12,71	13,20	13,70	14,20	14,69	15,18	15,68	16,17	16,67	17,16	17,66	18,15	18,65	19,15	19,64	20,14
0,95	11,36	11,86	12,36	12,86	13,35	13,85	14,35	14,84	15,34	15,84	16,34	16,83	17,33	17,83	18,33	18,83	19,33	19,82	20,32
1,00	11,50	12,00	12,50	13,00	13,50	14,00	14,50	15,00	15,50	16,00	16,50	17,00	17,50	18,00	18,50	19,00	19,50	20,00	20,50
1,05	11,63	12,14	12,64	13,15	13,64	14,15	14,65	15,15	15,66	16,16	16,66	17,16	17,66	18,17	18,67	19,18	19,68	20,17	20,68
1,10	11,76	12,27	12,78	13,28	13,79	14,29	14,80	15,30	15,81	16,31	16,82	17,33	17,83	18,34	18,84	19,35	19,85	20,35	20,86
1,15	11,89	12,40	12,91	13,42	13,93	14,44	14,95	15,46	15,96	16,47	16,98	17,49	17,99	18,50	19,01	19,51	20,02	20,52	21,04
1,20	12,02	12,54	13,05	13,56	14,07	14,58	15,09	15,60	16,12	16,62	17,14	17,65	18,15	18,67	19,17	19,68	20,19	20,70	21,21
1,25	12,15	12,67	13,18	13,70	14,21	14,73	15,24	15,75	16,27	16,78	17,29	17,80	18,32	18,83	19,34	19,85	20,36	20,87	21,38
1,30	12,28	12,80	13,32	13,84	14,35	14,86	15,38	15,90	16,42	16,93	17,44	17,96	18,47	18,99	19,50	20,02	20,53	21,04	21,55
1,35	12,40	12,93	13,45	13,97	14,49	15,00	15,53	16,04	16,57	17,08	17,60	18,11	18,63	19,15	19,66	20,18	20,69	21,21	21,72
1,40	12,53	13,06	13,58	14,10	14,62	15,14	15,67	16,19	16,71	17,23	17,75	18,27	18,79	19,31	19,82	20,34	20,86	21,37	21,89
1,45	12,65	13,18	13,71	14,24	14,76	15,28	15,81	16,33	16,86	17,38	17,90	18,42	18,94	19,46	19,98	20,51	21,02	21,54	22,06
1,50	12,77	13,31	13,84	14,37	14,89	15,42	15,95	16,47	17,00	17,53	18,05	18,57	19,09	19,62	20,14	20,66	21,18	21,70	22,22
1,55	12,89	13,43	13,96	14,50	15,03	15,56	16,08	16,61	17,14	17,67	18,19	18,72	19,24	19,77	20,29	20,82	21,34	21,87	22,39
1,60	13,02	13,55	14,09	14,63	15,16	15,69	16,22	16,75	17,28	17,81	18,34	18,87	19,40	19,93	20,45	20,98	21,50	22,03	22,55
1,50	13,14	13,68	14,21	14,75	15,29	15,82	16,36	16,89	17,43	17,96	18,49	19,02	19,55	20,08	20,60	21,14	21,66	22,19	22,72
1,70	13,25	13,80	14,34	14,88	15,42	15,95	16,49	17,03	17,57	18,10	18,63	19,16	19,70	20,23	20,76	21,29	21,82	22,35	22,88
1,75	13,37	13,92	14,46	15,01	15,55	16,08	16,63	17,16	17,71	18,24	18,77	19,31	19,85	20,38	20,91	21,45	21,98	22,50	23,04
1,80	13,49	14,04	14,58	15,13	15,67	16,22	16,76	17,30	17,84	18,38	18,92	19,46	19,99	20,53	21,06	21,60	22,13	22,66	23,20
1,85	13,60	14,16	14,70	15,25	15,80	16,35	16,89	17,43	17,98	18,52	19,06	19,60	20,14	20,68	21,21	21,75	22,29	22,82	23,36
1,90	13,72	14,28	14,82	15,38	15,93	16,47	17,02	17,57	18,11	18,66	19,20	19,74	20,28	20,82	21,36	21,90	22,44	22,97	23,51
1,95	13,83	14,39	14,95	15,50	16,05	16,60	17,15	17,70	18,25	18,79	19,33	19,88	20,42	20,97	21,51	22,05	22,59	23,13	23,67
2,00	13,94	14,51	15,07	15,62	16,17	16,73	17,28	17,83	18,38	18,93	19,47	20,03	20,57	21,12	21,65	22,20	22,74	23,28	23,82
2,05	14,06	14,62	15,18	15,74	16,30	16,85	17,41	17,96	18,52	19,06	19,61	20,16	20,71	21,26	21,80	22,35	22,89	23,43	23,97
2,10	14,17	14,74	15,30	15,87	16,42	16,98	17,54	18,09	18,65	19,20	19,75	20,30	20,85	21,40	21,95	22,49	23,04	23,58	24,13
2,15	14,28	14,85	15,42	15,98	16,54	17,10	17,66	18,22	18,78	19,33	19,89	20,44	20,99	21,54	22,09	22,64	23,18	23,73	24,28
2,20	14,39	14,96	15,53	16,10	16,66	17,22	17,79	18,35	18,91	19,46	20,02	20,58	21,13	21,69	22,23	22,79	23,33	23,88	24,43
2,25	14,50	15,08	15,65	16,22	16,79	17,35	17,92	18,48	19,04	19,60	20,15	20,71	21,27	21,83	22,38	22,93	23,48	24,03	24,58
2,30	14,61	15,19	15,76	16,34	16,90	17,47	18,04	18,60	19,17	19,73	20,29	20,85	21,40	21,96	22,52	23,07	23,62	24,18	24,73
2,35	14,72	15,30	15,87	16,45	17,02	17,59	18,16	18,73	19,29	19,86	20,42	20,98	21,54	22,10	22,66	23,22	23,77	24,32	24,88
2,40	14,83	15,41	15,99	16,57	17,14	17,71	18,28	18,85	19,42	19,99	20,55	21,12	21,68	22,24	22,80	23,36	23,91	24,46	25,03
2,45	14,93	15,52	16,10	16,68	17,26	17,83	18,41	18,98	19,55	20,12	20,68	21,25	21,81	22,38	22,94	23,50	24,06	24,61	25,17
2,50	15,04	15,63	16,21	16,79	17,37	17,95	18,53	19,10	19,68	20,25	20,81	21,38	21,95	22,51	23,07	23,64	24,19	24,76	25,32

Tabla A2. Valores de iluminancia mesópica para pavimentos tipo R₂ y R₃ (I_{x,mes})

S/P	Iluminancia fotópica [lx]																		
	21,0	21,5	22,0	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0	25,5	26,0	26,5	27,0	27,5	28,0	28,5	29,0	29,5	30,0
0,40	18,67	19,15	19,63	20,10	20,58	21,06	21,54	22,01	22,49	22,97	23,45	23,93	24,41	24,89	25,38	25,85	26,34	26,82	27,30
0,45	18,88	19,36	19,84	20,31	20,80	21,27	21,75	22,23	22,71	23,19	23,67	24,16	24,64	25,12	25,60	26,08	26,57	27,05	27,54
0,50	19,08	19,57	20,04	20,52	21,01	21,48	21,97	22,45	22,93	23,41	23,90	24,38	24,86	25,35	25,83	26,32	26,80	27,29	27,78
0,55	19,28	19,77	20,25	20,73	21,21	21,69	22,18	22,66	23,14	23,63	24,12	24,60	25,09	25,57	26,06	26,55	27,03	27,52	28,01
0,60	19,48	19,97	20,45	20,94	21,42	21,91	22,39	22,88	23,36	23,85	24,33	24,82	25,31	25,79	26,28	26,77	27,26	27,75	28,24
0,65	19,68	20,17	20,65	21,14	21,63	22,11	22,60	23,09	23,57	24,06	24,55	25,04	25,53	26,01	26,51	27,00	27,48	27,97	28,47
0,70	19,87	20,37	20,85	21,34	21,83	22,31	22,81	23,29	23,78	24,28	24,76	25,25	25,74	26,23	26,73	27,22	27,71	28,20	28,69
0,75	20,07	20,56	21,05	21,54	22,03	22,52	23,01	23,50	23,99	24,48	24,97	25,47	25,96	26,45	26,94	27,44	27,93	28,42	28,92
0,80	20,26	20,75	21,24	21,73	22,23	22,72	23,21	23,71	24,19	24,69	25,18	25,68	26,17	26,66	27,16	27,65	28,15	28,64	29,14
0,85	20,45	20,94	21,43	21,93	22,42	22,92	23,41	23,91	24,40	24,89	25,39	25,89	26,38	26,87	27,37	27,87	28,36	28,86	29,36
0,90	20,63	21,13	21,62	22,12	22,62	23,11	23,61	24,10	24,60	25,10	25,60	26,09	26,59	27,09	27,58	28,08	28,58	29,07	29,57
0,95	20,82	21,32	21,81	22,31	22,81	23,31	23,81	24,30	24,80	25,30	25,80	26,30	26,79	27,29	27,79	28,29	28,79	29,29	29,79
1,00	21,00	21,50	22,00	22,50	23,00	23,50	24,00	24,50	25,00	25,50	26,00	26,50	27,00	27,50	28,00	28,50	29,00	29,50	30,00
1,05	21,18	21,69	22,18	22,69	23,19	23,69	24,19	24,69	25,20	25,70	26,20	26,70	27,20	27,70	28,21	28,71	29,21	29,71	30,21
1,10	21,36	21,87	22,37	22,87	23,38	23,88	24,39	24,89	25,39	25,90	26,40	26,90	27,40	27,91	28,41	28,91	29,42	29,92	30,42
1,15	21,54	22,05	22,55	23,05	23,56	24,06	24,58	25,08	25,58	26,09	26,59	27,10	27,60	28,11	28,62	29,12	29,63	30,12	30,63
1,20	21,71	22,22	22,73	23,24	23,75	24,25	24,76	25,27	25,77	26,28	26,79	27,30	27,80	28,31	28,81	29,32	29,83	30,33	30,84
1,25	21,89	22,40	22,91	23,42	23,93	24,44	24,95	25,46	25,96	26,47	26,98	27,49	28,00	28,50	29,01	29,52	30,03	30,54	31,04
1,30	22,06	22,58	23,09	23,60	24,11	24,62	25,13	25,64	26,15	26,66	27,17	27,69	28,19	28,70	29,21	29,72	30,23	30,74	31,25
1,35	22,23	22,75	23,27	23,78	24,29	24,80	25,32	25,83	26,34	26,85	27,36	27,87	28,39	28,90	29,41	29,92	30,43	30,94	31,45
1,40	22,41	22,92	23,44	23,95	24,47	24,98	25,50	26,01	26,52	27,04	27,55	28,07	28,58	29,09	29,60	30,11	30,63	31,13	31,65
1,45	22,57	23,10	23,61	24,13	24,65	25,16	25,68	26,19	26,71	27,22	27,74	28,26	28,77	29,28	29,80	30,31	30,82	31,34	31,85
1,50	22,75	23,27	23,78	24,30	24,82	25,34	25,86	26,38	26,89	27,41	27,92	28,44	28,96	29,47	29,99	30,50	31,02	31,53	32,04
1,55	22,91	23,44	23,95	24,47	24,99	25,51	26,03	26,55	27,07	27,59	28,11	28,63	29,14	29,66	30,18	30,69	31,21	31,72	32,24
1,60	23,08	23,60	24,12	24,64	25,17	25,69	26,21	26,73	27,25	27,77	28,29	28,81	29,33	29,85	30,37	30,88	31,40	31,92	32,43
1,50	23,24	23,77	24,29	24,81	25,34	25,86	26,39	26,91	27,43	27,95	28,47	29,00	29,51	30,03	30,55	31,07	31,59	32,11	32,63
1,70	23,40	23,93	24,46	24,98	25,51	26,03	26,56	27,09	27,61	28,13	28,65	29,18	29,70	30,22	30,74	31,26	31,78	32,30	32,82
1,75	23,57	24,10	24,63	25,15	25,68	26,21	26,73	27,26	27,78	28,31	28,83	29,36	29,88	30,40	30,92	31,44	31,97	32,49	33,01
1,80	23,73	24,26	24,79	25,32	25,85	26,38	26,91	27,43	27,96	28,49	29,01	29,54	30,06	30,58	31,11	31,63	32,16	32,68	33,20
1,85	23,89	24,42	24,95	25,48	26,02	26,54	27,08	27,60	28,13	28,66	29,19	29,71	30,24	30,76	31,29	31,82	32,34	32,86	33,39
1,90	24,05	24,58	25,11	25,64	26,18	26,71	27,25	27,77	28,30	28,84	29,36	29,89	30,42	30,94	31,47	31,99	32,52	33,05	33,57
1,95	24,20	24,74	25,28	25,81	26,34	26,88	27,41	27,94	28,47	29,01	29,54	30,07	30,59	31,12	31,65	32,18	32,71	33,23	33,76
2,00	24,36	24,90	25,43	25,97	26,51	27,04	27,58	28,11	28,64	29,18	29,71	30,24	30,77	31,30	31,83	32,36	32,89	33,41	33,94
2,05	24,51	25,06	25,60	26,13	26,67	27,21	27,74	28,28	28,81	29,35	29,88	30,42	30,94	31,47	32,01	32,54	33,07	33,60	34,13
2,10	24,67	25,21	25,75	26,29	26,83	27,37	27,91	28,44	28,98	29,52	30,05	30,59	31,12	31,65	32,18	32,71	33,25	33,78	34,31
2,15	24,82	25,37	25,91	26,45	27,00	27,53	28,07	28,61	29,15	29,68	30,22	30,76	31,29	31,82	32,36	32,89	33,43	33,96	34,49
2,20	24,98	25,52	26,07	26,61	27,15	27,69	28,24	28,78	29,31	29,85	30,39	30,93	31,47	32,00	32,53	33,07	33,61	34,14	34,67
2,25	25,13	25,68	26,22	26,77	27,31	27,85	28,40	28,94	29,48	30,02	30,56	31,10	31,63	32,17	32,71	33,24	33,78	34,31	34,85
2,30	25,28	25,83	26,38	26,92	27,47	28,01	28,56	29,10	29,64	30,19	30,72	31,27	31,81	32,34	32,88	33,42	33,96	34,49	35,02
2,35	25,43	25,98	26,53	27,08	27,62	28,17	28,72	29,26	29,80	30,35	30,89	31,43	31,97	32,51	33,05	33,59	34,13	34,67	35,20
2,40	25,58	26,13	26,68	27,23	27,78	28,33	28,88	29,42	29,97	30,51	31,05	31,60	32,14	32,68	33,22	33,76	34,30	34,84	35,38
2,45	25,73	26,28	26,83	27,38	27,94	28,48	29,04	29,58	30,12	30,68	31,22	31,77	32,30	32,85	33,39	33,93	34,47	35,01	35,55
2,50	25,87	26,43	26,98	27,53	28,09	28,64	29,19	29,74	30,28	30,84	31,38	31,93	32,48	33,01	33,56	34,10	34,64	35,19	35,72

Tabla A3. Valores de iluminancia mesópica para pavimentos tipo R₄ (I_{xmes})

S/P	Iluminancia fotópica [lx]																			
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0
0,40	0,99	1,39	1,81	2,23	2,66	3,10	3,53	3,97	4,42	4,86	5,31	5,76	6,21	6,66	7,12	7,58	8,03	8,49	8,96	9,42
0,45	1,04	1,45	1,88	2,31	2,74	3,18	3,62	4,06	4,52	4,96	5,42	5,87	6,33	6,78	7,25	7,70	8,17	8,63	9,09	9,56
0,50	1,09	1,51	1,94	2,38	2,82	3,26	3,71	4,16	4,61	5,07	5,52	5,98	6,44	6,90	7,37	7,83	8,29	8,76	9,23	9,70
0,55	1,13	1,56	2,00	2,45	2,89	3,34	3,79	4,25	4,71	5,16	5,63	6,09	6,55	7,02	7,49	7,96	8,42	8,89	9,37	9,83
0,60	1,18	1,62	2,06	2,51	2,96	3,42	3,88	4,34	4,80	5,26	5,73	6,20	6,66	7,13	7,61	8,08	8,55	9,02	9,50	9,97
0,65	1,22	1,67	2,12	2,58	3,04	3,50	3,96	4,43	4,89	5,36	5,83	6,30	6,77	7,25	7,72	8,20	8,67	9,15	9,63	10,10
0,70	1,26	1,72	2,18	2,64	3,10	3,57	4,04	4,51	4,98	5,45	5,93	6,41	6,88	7,36	7,84	8,32	8,79	9,28	9,76	10,24
0,75	1,31	1,77	2,23	2,70	3,17	3,65	4,12	4,59	5,07	5,55	6,03	6,51	6,99	7,47	7,95	8,44	8,92	9,40	9,88	10,37
0,80	1,35	1,81	2,29	2,76	3,24	3,72	4,20	4,68	5,16	5,64	6,13	6,61	7,09	7,58	8,07	8,55	9,04	9,52	10,01	10,50
0,85	1,39	1,86	2,34	2,82	3,31	3,79	4,28	4,76	5,25	5,73	6,22	6,71	7,20	7,69	8,18	8,66	9,15	9,64	10,14	10,63
0,90	1,43	1,91	2,40	2,88	3,37	3,86	4,35	4,84	5,33	5,82	6,31	6,81	7,30	7,79	8,29	8,78	9,27	9,76	10,26	10,75
0,95	1,46	1,96	2,45	2,94	3,44	3,93	4,43	4,92	5,42	5,91	6,41	6,91	7,40	7,90	8,40	8,89	9,39	9,88	10,38	10,88
1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	10,50	11,00
1,05	1,54	2,04	2,55	3,06	3,56	4,07	4,57	5,08	5,58	6,09	6,59	7,10	7,60	8,10	8,61	9,11	9,61	10,12	10,62	11,12
1,10	1,57	2,09	2,60	3,11	3,62	4,14	4,65	5,15	5,67	6,17	6,68	7,19	7,70	8,20	8,71	9,22	9,72	10,23	10,74	11,24
1,15	1,61	2,13	2,65	3,17	3,68	4,20	4,72	5,23	5,75	6,26	6,77	7,28	7,80	8,30	8,82	9,33	9,83	10,34	10,85	11,36
1,20	1,64	2,17	2,70	3,22	3,74	4,27	4,79	5,31	5,82	6,34	6,86	7,37	7,89	8,40	8,92	9,43	9,94	10,45	10,97	11,48
1,25	1,68	2,21	2,75	3,28	3,81	4,33	4,86	5,38	5,91	6,42	6,94	7,47	7,98	8,50	9,02	9,54	10,05	10,57	11,09	11,60
1,30	1,71	2,25	2,80	3,33	3,86	4,40	4,92	5,45	5,98	6,51	7,03	7,56	8,08	8,60	9,12	9,64	10,16	10,68	11,20	11,71
1,35	1,74	2,29	2,84	3,38	3,92	4,46	5,00	5,53	6,06	6,59	7,12	7,65	8,17	8,69	9,22	9,74	10,27	10,79	11,31	11,83
1,40	1,78	2,33	2,89	3,44	3,98	4,52	5,06	5,60	6,14	6,67	7,20	7,73	8,26	8,79	9,32	9,85	10,37	10,90	11,42	11,95
1,45	1,81	2,37	2,93	3,49	4,04	4,59	5,13	5,67	6,21	6,75	7,28	7,82	8,35	8,89	9,42	9,95	10,48	11,00	11,53	12,06
1,50	1,84	2,41	2,98	3,54	4,09	4,65	5,20	5,74	6,29	6,83	7,37	7,91	8,44	8,98	9,52	10,05	10,58	11,11	11,64	12,17
1,55	1,87	2,45	3,02	3,59	4,15	4,71	5,26	5,81	6,36	6,91	7,45	8,00	8,53	9,07	9,61	10,15	10,68	11,22	11,75	12,28
1,60	1,90	2,49	3,07	3,64	4,20	4,77	5,32	5,88	6,44	6,98	7,53	8,08	8,62	9,17	9,71	10,25	10,78	11,32	11,86	12,39
1,50	1,94	2,53	3,11	3,69	4,26	4,83	5,39	5,95	6,51	7,06	7,61	8,16	8,71	9,26	9,80	10,34	10,89	11,42	11,97	12,50
1,70	1,97	2,56	3,16	3,74	4,31	4,89	5,45	6,02	6,58	7,14	7,69	8,25	8,80	9,35	9,90	10,44	10,99	11,53	12,08	12,61
1,75	2,00	2,60	3,20	3,79	4,37	4,94	5,52	6,08	6,65	7,21	7,77	8,33	8,89	9,44	9,99	10,54	11,09	11,63	12,18	12,72
1,80	2,03	2,64	3,24	3,83	4,42	5,00	5,58	6,15	6,72	7,29	7,85	8,42	8,97	9,53	10,08	10,63	11,18	11,73	12,28	12,83
1,85	2,06	2,67	3,29	3,88	4,47	5,06	5,64	6,22	6,79	7,36	7,93	8,49	9,06	9,61	10,17	10,73	11,28	11,84	12,39	12,94
1,90	2,09	2,71	3,33	3,93	4,52	5,12	5,70	6,28	6,86	7,44	8,01	8,58	9,14	9,70	10,27	10,83	11,38	11,93	12,49	13,04
1,95	2,12	2,75	3,37	3,98	4,58	5,18	5,76	6,35	6,94	7,51	8,08	8,66	9,22	9,79	10,36	10,92	11,48	12,03	12,59	13,15
2,00	2,05	2,78	3,41	4,03	4,63	5,23	5,82	6,41	7,00	7,58	8,16	8,74	9,31	9,88	10,45	11,01	11,57	12,13	12,70	13,25
2,05	2,15	2,82	3,41	4,07	4,63	5,29	5,82	6,48	7,00	7,65	8,16	8,82	9,31	9,96	10,45	11,11	11,57	12,23	12,70	13,36
2,10	2,21	2,85	3,49	4,12	4,73	5,34	5,95	6,54	7,14	7,73	8,31	8,89	9,48	10,05	10,63	11,20	11,76	12,33	12,90	13,46
2,15	2,23	2,89	3,53	4,16	4,78	5,40	6,00	6,61	7,21	7,80	8,39	8,97	9,55	10,14	10,71	11,29	11,86	12,42	12,99	13,56
2,20	2,26	2,92	3,57	4,21	4,83	5,45	6,06	6,67	7,27	7,87	8,46	9,05	9,64	10,22	10,80	11,38	11,95	12,52	13,09	13,66
2,25	2,29	2,96	3,61	4,25	4,88	5,51	6,12	6,73	7,34	7,94	8,53	9,13	9,72	10,30	10,89	11,47	12,04	12,62	13,19	13,76
2,30	2,32	2,99	3,65	4,30	4,93	5,56	6,18	6,79	7,41	8,01	8,61	9,21	9,80	10,39	10,98	11,56	12,14	12,71	13,29	13,86
2,35	2,34	3,02	3,69	4,34	4,98	5,62	6,24	6,86	7,47	8,08	8,68	9,28	9,88	10,47	11,06	11,64	12,23	12,81	13,39	13,96
2,40	2,38	3,06	3,73	4,39	5,03	5,67	6,29	6,92	7,54	8,15	8,75	9,36	9,96	10,55	11,14	11,73	12,32	12,90	13,49	14,06
2,45	2,40	3,09	3,77	4,43	5,08	5,72	6,35	6,98	7,60	8,22	8,83	9,44	10,03	10,63	11,23	11,82	12,41	12,99	13,58	14,16
2,50	2,43	3,13	3,81	4,47	5,12	5,78	6,41	7,04	7,67	8,29	8,90	9,51	10,11	10,71	11,31	11,91	12,50	13,08	13,67	14,26

Tabla A3. Valores de iluminancia mesópica para pavimentos tipo R₄ (I_{xmes})

S/P	Iluminancia fotópica [lx]																		
	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5
0,40	9,88	10,35	10,81	11,27	11,75	12,21	12,68	13,15	13,62	14,09	14,57	15,04	15,51	15,99	16,46	16,93	17,41	17,89	18,37
0,45	10,02	10,49	10,96	11,43	11,90	12,37	12,84	13,32	13,79	14,26	14,74	15,21	15,69	16,17	16,64	17,12	17,60	18,08	18,56
0,50	10,17	10,64	11,11	11,58	12,06	12,53	13,00	13,48	13,95	14,43	14,91	15,38	15,86	16,34	16,82	17,30	17,78	18,26	18,74
0,55	10,31	10,78	11,25	11,73	12,21	12,68	13,16	13,64	14,11	14,59	15,08	15,55	16,03	16,52	17,00	17,48	17,96	18,44	18,92
0,60	10,45	10,92	11,40	11,88	12,36	12,84	13,31	13,80	14,27	14,76	15,24	15,72	16,20	16,69	17,17	17,65	18,14	18,62	19,10
0,65	10,58	11,07	11,55	12,02	12,51	12,99	13,47	13,95	14,44	14,92	15,41	15,89	16,37	16,86	17,34	17,83	18,32	18,80	19,29
0,70	10,72	11,20	11,69	12,17	12,65	13,14	13,62	14,11	14,59	15,08	15,57	16,05	16,54	17,03	17,51	18,00	18,49	18,98	19,47
0,75	10,85	11,34	11,82	12,31	12,80	13,29	13,77	14,26	14,75	15,23	15,72	16,21	16,70	17,19	17,68	18,17	18,66	19,15	19,64
0,80	10,98	11,47	11,96	12,45	12,94	13,43	13,92	14,41	14,90	15,39	15,88	16,37	16,86	17,36	17,85	18,34	18,83	19,32	19,82
0,85	11,11	11,61	12,10	12,59	13,08	13,58	14,07	14,56	15,05	15,54	16,04	16,53	17,02	17,52	18,01	18,51	19,00	19,50	19,99
0,90	11,24	11,74	12,23	12,73	13,23	13,72	14,21	14,71	15,21	15,70	16,19	16,69	17,18	17,68	18,18	18,67	19,17	19,67	20,16
0,95	11,37	11,87	12,37	12,86	13,36	13,86	14,36	14,86	15,35	15,85	16,35	16,85	17,34	17,84	18,34	18,84	19,34	19,84	20,33
1,00	11,50	12,00	12,50	13,00	13,50	14,00	14,50	15,00	15,50	16,00	16,50	17,00	17,50	18,00	18,50	19,00	19,50	20,00	20,50
1,05	11,62	12,13	12,63	13,13	13,64	14,14	14,64	15,15	15,65	16,15	16,65	17,15	17,65	18,16	18,66	19,16	19,67	20,17	20,66
1,10	11,75	12,26	12,76	13,27	13,77	14,27	14,78	15,29	15,79	16,29	16,80	17,31	17,81	18,32	18,82	19,32	19,83	20,33	20,83
1,15	11,87	12,38	12,89	13,39	13,91	14,41	14,92	15,43	15,94	16,44	16,95	17,46	17,96	18,47	18,97	19,48	19,98	20,49	20,99
1,20	11,99	12,51	13,01	13,52	14,04	14,55	15,06	15,57	16,08	16,58	17,09	17,60	18,11	18,62	19,13	19,63	20,15	20,65	21,16
1,25	12,11	12,63	13,14	13,65	14,17	14,68	15,19	15,71	16,22	16,73	17,24	17,75	18,26	18,77	19,28	19,79	20,30	20,81	21,32
1,30	12,23	12,75	13,27	13,78	14,30	14,81	15,33	15,85	16,36	16,87	17,38	17,90	18,41	18,92	19,43	19,95	20,46	20,97	21,48
1,35	12,35	12,87	13,39	13,91	14,43	14,95	15,46	15,98	16,50	17,01	17,53	18,04	18,56	19,07	19,58	20,10	20,61	21,13	21,64
1,40	12,47	12,99	13,51	14,04	14,56	15,08	15,59	16,12	16,63	17,15	17,67	18,19	18,70	19,22	19,74	20,25	20,77	21,28	21,79
1,45	12,58	13,11	13,63	14,16	14,68	15,21	15,72	16,25	16,77	17,29	17,81	18,33	18,85	19,37	19,88	20,40	20,92	21,44	21,95
1,50	12,70	13,23	13,76	14,28	14,81	15,33	15,86	16,38	16,91	17,42	17,95	18,47	18,99	19,51	20,03	20,55	21,07	21,59	22,11
1,55	12,81	13,35	13,87	14,40	14,93	15,46	15,99	16,51	17,04	17,56	18,09	18,61	19,13	19,66	20,18	20,70	21,22	21,74	22,26
1,60	12,93	13,46	14,00	14,53	15,06	15,59	16,11	16,65	17,17	17,70	18,23	18,75	19,27	19,80	20,32	20,84	21,37	21,89	22,41
1,50	13,04	13,58	14,11	14,64	15,18	15,71	16,24	16,78	17,30	17,83	18,36	18,89	19,42	19,95	20,47	20,99	21,52	22,04	22,56
1,70	13,15	13,69	14,23	14,77	15,30	15,84	16,37	16,91	17,44	17,97	18,50	19,03	19,55	20,09	20,61	21,14	21,67	22,19	22,71
1,75	13,26	13,81	14,35	14,88	15,43	15,96	16,49	17,03	17,57	18,10	18,63	19,16	19,69	20,22	20,75	21,28	21,81	22,34	22,86
1,80	13,37	13,92	14,46	15,00	15,54	16,08	16,62	17,16	17,70	18,23	18,77	19,30	19,83	20,37	20,90	21,42	21,96	22,48	23,01
1,85	13,48	14,03	14,57	15,12	15,66	16,20	16,74	17,29	17,82	18,36	18,90	19,43	19,96	20,50	21,03	21,57	22,10	22,63	23,16
1,90	13,59	14,14	14,69	15,23	15,78	16,32	16,87	17,41	17,95	18,49	19,03	19,56	20,10	20,64	21,17	21,70	22,24	22,77	23,31
1,95	13,70	14,25	14,80	15,35	15,90	16,44	16,99	17,53	18,08	18,62	19,16	19,70	20,24	20,78	21,31	21,85	22,38	22,92	23,45
2,00	13,81	14,36	14,91	15,46	16,02	16,56	17,11	17,66	18,20	18,74	19,29	19,83	20,37	20,91	21,45	21,99	22,53	23,06	23,59
2,05	13,81	14,47	14,91	15,58	16,02	16,68	17,11	17,78	18,20	18,87	19,29	19,96	20,37	21,04	21,45	22,12	22,53	23,20	23,59
2,10	14,02	14,58	15,13	15,69	16,25	16,80	17,35	17,90	18,45	18,99	19,55	20,09	20,64	21,18	21,72	22,26	22,80	23,34	23,88
2,15	14,12	14,69	15,24	15,80	16,36	16,91	17,47	18,02	18,57	19,12	19,67	20,22	20,77	21,31	21,86	22,40	22,94	23,48	24,02
2,20	14,23	14,79	15,35	15,91	16,48	17,03	17,59	18,14	18,70	19,25	19,80	20,35	20,90	21,45	21,99	22,53	23,08	23,62	24,16
2,25	14,33	14,90	15,46	16,03	16,59	17,15	17,70	18,26	18,82	19,37	19,93	20,48	21,03	21,57	22,12	22,67	23,22	23,76	24,30
2,30	14,43	15,01	15,57	16,14	16,70	17,26	17,82	18,38	18,94	19,49	20,05	20,60	21,15	21,71	22,25	22,80	23,35	23,90	24,44
2,35	14,53	15,11	15,68	16,24	16,81	17,38	17,94	18,50	19,06	19,62	20,17	20,73	21,28	21,84	22,39	22,94	23,49	24,03	24,58
2,40	14,64	15,21	15,78	16,35	16,93	17,49	18,05	18,62	19,18	19,74	20,30	20,85	21,41	21,97	22,52	23,07	23,62	24,17	24,72
2,45	14,74	15,32	15,89	16,46	17,04	17,60	18,17	18,74	19,30	19,86	20,42	20,98	21,54	22,09	22,65	23,20	23,75	24,30	24,85
2,50	14,84	15,42	15,99	16,57	17,15	17,71	18,28	18,85	19,42	19,98	20,54	21,10	21,66	22,22	22,78	23,33	23,89	24,44	24,99

Tabla A3. Valores de iluminancia mesópica para pavimentos tipo R₄ (lx_{mes})

S/P	Iluminancia fotópica [lx]																		
	21,0	21,5	22,0	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0	25,5	26,0	26,5	27,0	27,5	28,0	28,5	29,0	29,5	30,0
0,40	18,85	19,32	19,80	20,28	20,76	21,24	21,72	22,20	22,68	23,17	23,65	24,13	24,61	25,10	25,58	26,06	26,55	27,03	27,52
0,45	19,03	19,51	19,99	20,48	20,96	21,44	21,92	22,40	22,89	23,37	23,85	24,34	24,82	25,31	25,79	26,28	26,77	27,25	27,74
0,50	19,22	19,71	20,18	20,67	21,15	21,63	22,12	22,60	23,09	23,57	24,06	24,54	25,03	25,52	26,00	26,49	26,98	27,47	27,95
0,55	19,41	19,89	20,37	20,86	21,35	21,83	22,32	22,80	23,29	23,78	24,26	24,75	25,23	25,73	26,21	26,70	27,19	27,68	28,16
0,60	19,59	20,08	20,56	21,05	21,54	22,02	22,51	23,00	23,48	23,97	24,46	24,95	25,44	25,93	26,42	26,90	27,40	27,89	28,38
0,65	19,78	20,26	20,75	21,24	21,73	22,21	22,71	23,19	23,68	24,17	24,66	25,15	25,64	26,13	26,62	27,11	27,61	28,09	28,58
0,70	19,96	20,44	20,93	21,43	21,91	22,40	22,89	23,39	23,87	24,37	24,86	25,35	25,84	26,33	26,83	27,32	27,81	28,30	28,79
0,75	20,13	20,62	21,12	21,61	22,10	22,59	23,08	23,57	24,06	24,56	25,05	25,55	26,04	26,53	27,03	27,52	28,01	28,51	29,00
0,80	20,31	20,80	21,30	21,79	22,28	22,78	23,27	23,76	24,26	24,75	25,25	25,74	26,23	26,73	27,22	27,72	28,22	28,71	29,20
0,85	20,49	20,98	21,47	21,97	22,47	22,96	23,46	23,95	24,45	24,94	25,44	25,93	26,42	26,92	27,42	27,91	28,41	28,91	29,40
0,90	20,66	21,15	21,65	22,15	22,64	23,14	23,64	24,14	24,63	25,13	25,63	26,12	26,62	27,12	27,61	28,11	28,61	29,11	29,60
0,95	20,83	21,33	21,83	22,32	22,82	23,32	23,82	24,32	24,81	25,32	25,82	26,31	26,81	27,31	27,81	28,31	28,81	29,30	29,80
1,00	21,00	21,50	22,00	22,50	23,00	23,50	24,00	24,50	25,00	25,50	26,00	26,50	27,00	27,50	28,00	28,50	29,00	29,50	30,00
1,05	21,17	21,67	22,17	22,67	23,18	23,68	24,18	24,68	25,18	25,69	26,19	26,68	27,19	27,69	28,19	28,69	29,19	29,69	30,19
1,10	21,34	21,84	22,34	22,85	23,35	23,85	24,36	24,86	25,36	25,87	26,37	26,87	27,37	27,88	28,38	28,88	29,39	29,88	30,39
1,15	21,50	22,01	22,51	23,02	23,52	24,03	24,53	25,04	25,54	26,05	26,55	27,05	27,56	28,06	28,56	29,07	29,57	30,08	30,58
1,20	21,67	22,17	22,68	23,19	23,70	24,20	24,71	25,21	25,72	26,22	26,73	27,23	27,74	28,25	28,75	29,26	29,76	30,27	30,77
1,25	21,83	22,34	22,84	23,36	23,86	24,37	24,88	25,39	25,89	26,40	26,91	27,41	27,92	28,43	28,93	29,44	29,95	30,45	30,96
1,30	21,99	22,50	23,01	23,52	24,03	24,54	25,05	25,56	26,07	26,58	27,08	27,59	28,10	28,61	29,12	29,63	30,13	30,64	31,14
1,35	22,15	22,66	23,17	23,69	24,20	24,71	25,22	25,73	26,24	26,75	27,26	27,77	28,28	28,79	29,30	29,81	30,32	30,82	31,33
1,40	22,31	22,82	23,34	23,85	24,36	24,87	25,39	25,90	26,41	26,93	27,44	27,95	28,45	28,97	29,48	29,99	30,50	31,01	31,51
1,45	22,47	22,98	23,50	24,01	24,53	25,04	25,56	26,07	26,58	27,10	27,61	28,12	28,63	29,15	29,66	30,17	30,68	31,19	31,70
1,50	22,63	23,14	23,66	24,18	24,69	25,21	25,73	26,24	26,75	27,27	27,78	28,29	28,81	29,32	29,83	30,34	30,86	31,37	31,88
1,55	22,78	23,30	23,82	24,34	24,85	25,37	25,89	26,41	26,92	27,44	27,95	28,47	28,98	29,50	30,01	30,52	31,04	31,55	32,06
1,60	22,94	23,46	23,97	24,50	25,01	25,53	26,05	26,57	27,09	27,61	28,12	28,64	29,15	29,67	30,18	30,70	31,22	31,73	32,24
1,50	23,09	23,61	24,13	24,65	25,18	25,69	26,22	26,73	27,25	27,78	28,29	28,81	29,32	29,85	30,36	30,87	31,39	31,91	32,42
1,70	23,24	23,76	24,28	24,81	25,33	25,85	26,38	26,90	27,41	27,94	28,46	28,97	29,49	30,01	30,53	31,05	31,57	32,08	32,60
1,75	23,39	23,92	24,44	24,97	25,49	26,01	26,54	27,06	27,58	28,10	28,62	29,14	29,66	30,18	30,70	31,22	31,74	32,26	32,77
1,80	23,54	24,07	24,59	25,12	25,65	26,17	26,70	27,22	27,74	28,27	28,79	29,31	29,83	30,35	30,87	31,39	31,91	32,43	32,95
1,85	23,69	24,22	24,75	25,28	25,80	26,33	26,86	27,38	27,90	28,43	28,95	29,48	29,99	30,52	31,04	31,56	32,08	32,60	33,12
1,90	23,84	24,37	24,90	25,43	25,96	26,48	27,01	27,54	28,06	28,59	29,11	29,64	30,16	30,69	31,21	31,73	32,25	32,77	33,29
1,95	23,99	24,52	25,05	25,58	26,11	26,64	27,17	27,70	28,22	28,75	29,28	29,80	30,32	30,85	31,37	31,90	32,42	32,94	33,47
2,00	24,13	24,67	25,20	25,73	26,26	26,79	27,32	27,85	28,38	28,91	29,44	29,96	30,49	31,02	31,54	32,06	32,59	33,11	33,63
2,05	24,28	24,67	25,34	25,73	26,41	26,79	27,48	27,85	28,54	28,91	29,60	29,96	30,65	31,02	31,70	32,06	32,76	33,11	33,80
2,10	24,42	24,96	25,49	26,03	26,56	27,10	27,63	28,16	28,69	29,22	29,75	30,28	30,81	31,34	31,87	32,39	32,92	33,45	33,97
2,15	24,56	25,10	25,64	26,18	26,71	27,25	27,78	28,32	28,85	29,38	29,91	30,44	30,97	31,50	32,03	32,55	33,09	33,61	34,14
2,20	24,71	25,25	25,78	26,32	26,86	27,39	27,93	28,47	29,00	29,53	30,07	30,60	31,13	31,66	32,19	32,72	33,25	33,78	34,30
2,25	24,85	25,39	25,93	26,47	27,01	27,54	28,09	28,62	29,15	29,69	30,23	30,76	31,29	31,82	32,35	32,88	33,41	33,94	34,47
2,30	24,99	25,53	26,07	26,62	27,16	27,69	28,24	28,77	29,31	29,85	30,38	30,91	31,44	31,98	32,51	33,04	33,58	34,10	34,63
2,35	25,13	25,67	26,21	26,76	27,30	27,84	28,38	28,92	29,46	30,00	30,53	31,07	31,60	32,14	32,67	33,20	33,74	34,27	34,79
2,40	25,27	25,81	26,35	26,90	27,45	27,99	28,53	29,07	29,61	30,15	30,69	31,22	31,76	32,30	32,83	33,36	33,90	34,43	34,96
2,45	25,41	25,95	26,50	27,05	27,59	28,13	28,67	29,22	29,76	30,30	30,84	31,37	31,91	32,45	32,99	33,52	34,05	34,59	35,12
2,50	25,55	26,09	26,64	27,19	27,73	28,28	28,82	29,37	29,90	30,45	30,99	31,53	32,06	32,60	33,14	33,67	34,21	34,75	35,28

APÉNDICE B

INFORMATIVO

Ejemplo de aplicación del método de cálculo

Este ejemplo tiene por objetivo ilustrar la forma en que se debe aplicar el método de cálculo establecido en el apartado 7.4 de la presente propuesta de actualización, para poder verificar el cumplimiento de las especificaciones establecidas en la misma.

De acuerdo a la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 en el alumbrado de vialidades se debe verificar el cumplimiento de los siguientes parámetros de acuerdo al tipo de vialidad:

- Valor máximo de densidad de potencia eléctrica para alumbrado.
- Nivel mínimo mantenido de iluminancia mesópica promedio.
- Valores máximos de las relaciones de uniformidad.

B.1. Características del caso base

Como parte de un programa de ahorro de energía en un municipio se pretenden sustituir los equipos de alumbrado de vialidades por otros de mayor eficiencia.

Particularmente, en una de las vías rápidas del municipio se tienen instalados equipos con lámparas de vapor de sodio de alta presión (VSAP) de 150 W con un balastro que tiene una potencia de entrada de 172 W. Dicha vía rápida se caracteriza por tener un pavimento tipo R₁ y ancho de calle de 10,5 m; los luminarios están colocados en configuración unilateral con una distancia interpostal de 30 m y altura de montaje de 9 m.

B.2 Características de los equipos propuestos para la sustitución

Para la sustitución de equipos se plantean varias alternativas de diferentes tecnologías, que se muestran a continuación:

- Sistema de vapor de sodio de alta presión optimizado de 100 W, con TCC de 2 100 K.
- Sistema de aditivos metálicos de arranque por pulso de 100 W, con TCC de 3 500 K.
- Sistema de aditivos metálicos cerámicos de 90 W, con TCC de 2 850 K.
- Sistema de inducción electromagnética de 120 W, con TCC de 5 000 K.
- Sistema de LEDs de 86 W, con TCC de 5 000 K.

Conforme al apartado 7.3.1, los fabricantes presentaron los informes de pruebas correspondientes en los que se indica la potencia de entrada de sus equipos, aunque no exhibieron un informe de pruebas con el valor de la relación S/P, por lo que de acuerdo al apartado 7.4.2.3, se pueden emplear los valores establecidos en la Tabla 6 de la presente propuesta de actualización. Los valores se indican en la Tabla B1.

Tabla B1. Potencia de entrada y relación S/P de las alternativas de sustitución del ejemplo

Sistema	Potencia de entrada (W) De acuerdo al informe de pruebas presentado por el fabricante	Relación S/P Conforme a la Tabla 6 de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004
Vapor de sodio alta presión optimizado de 100 W, TCC 2 100 K	114	0,64
Aditivos metálicos arranque por pulso de 100 W, TCC 3 500 K	120	1,60
Aditivos metálicos cerámicos de 90 W, TCC 2 850 K	98,5	1,26
Inducción electromagnética de 120 W, TCC 5 000 K	134	1,94
LEDs de 86 W, TCC 5 000 K	86	1,78

De cada alternativa de sustitución se colocaron tres muestras en tramos seleccionados de la vialidad en cuestión. La Figura B1 muestra la configuración y distancias de los equipos.

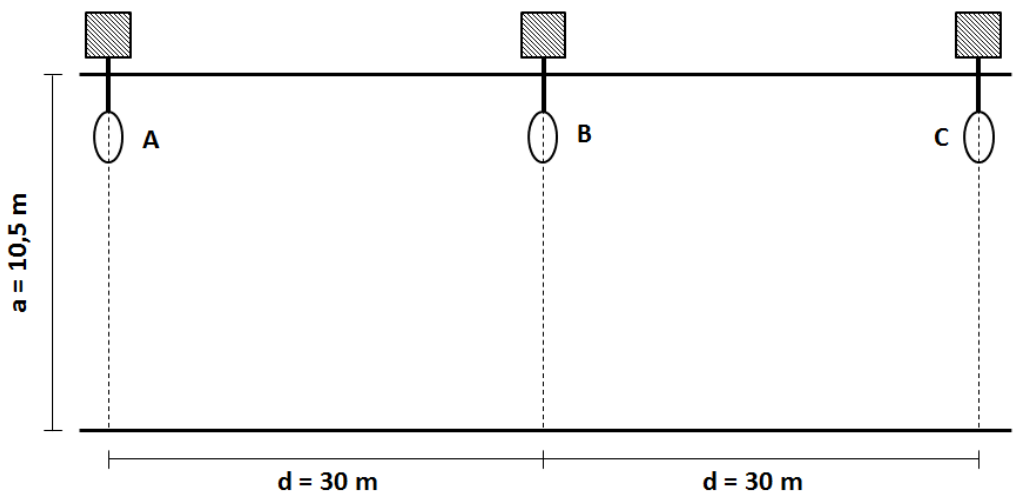


Figura B1. Configuración y distancias de los equipos

B.3 Cálculo de la densidad de potencia eléctrica para alumbrado

Para calcular la densidad de potencia eléctrica para alumbrado se debe considerar que los equipos de los extremos están regularmente destinados a iluminar hasta la mitad de la distancia interpostal, por lo que la longitud total a iluminar en el sentido transversal de la calle para la configuración mostrada en la Figura B1 es de 90 m; el área total iluminada se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Área total iluminada} = \text{longitud de calle} \times \text{ancho de calle} = 90 \text{ m} \times 10,5 \text{ m} = 945 \text{ m}^2$$

La densidad de potencia eléctrica para alumbrado se calcula con la expresión indicada en el apartado 7.4.1 de esta propuesta de actualización, con la cual se obtienen los valores de la Tabla B2:

Tabla B2. DPEA para las alternativas de sustitución del ejemplo

Sistema	Carga total conectada para alumbrado (W) Considerando un total de 3 equipos instalados	DPEA (W/m ²) Conforme a la expresión del apartado 7.4.1 la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004
Vapor de sodio alta presión optimizado de 100 W, TCC 2 100 K	342	0,36
Aditivos metálicos arranque por pulso de 100 W, TCC 3 500 K	360	0,38
Aditivos metálicos cerámicos de 90 W, TCC 2 850 K	296	0,31
Inducción electromagnética de 120 W, TCC 5 000 K	402	0,43
LEDs de 86 W, TCC 5 000 K	258	0,27

De acuerdo a la Tabla 1 de esta propuesta de actualización, una vía rápida con un pavimento tipo R₁ y un ancho de calle de 10,5 m debe tener una DPEA no mayor a 0,58 W/m², por lo que cada una de las alternativas de sustitución del ejemplo cumplen con la DPEA máxima permitida.

B.4 Cálculo del nivel mantenido de iluminancia mesópica promedio

Con base en el apartado 7.4.2 de esta propuesta de actualización, para determinar el nivel mantenido de iluminancia mesópica promedio es necesario conocer el nivel de iluminancia promedio y el nivel mantenido de iluminancia promedio. Para obtener el nivel de iluminancia promedio se realizaron mediciones en campo conforme lo establece el apartado 7.3.2 de esta propuesta de actualización; para cada uno de los puntos de medición se obtuvieron los valores de iluminancia indicados de la Tabla B3.

Tabla B3. Valores de iluminancia (lx) en los 9 puntos de medición para cada alternativa de sustitución

Sistema	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈	E ₉
Vapor de sodio alta presión optimizado de 100 W, TCC 2 100 K	21,00	33,00	8,78	11,00	18,00	7,52	6,25	12,00	6,71
Aditivos metálicos arranque por pulso de 100 W, TCC 3 500 K	22,00	21,00	7,81	8,32	11,00	6,68	5,61	8,64	6,90
Aditivos metálicos cerámicos de 90 W, TCC 2 850 K	17,00	28,00	9,59	9,88	21,00	9,28	5,34	12,00	5,57
Inducción electromagnética de 120 W, TCC 5 000 K	22,00	21,00	8,31	13,00	12,00	6,13	6,22	6,08	4,48
LEDs de 86 W, TCC 5 000 K	5,22	26,00	9,77	8,04	20,00	8,11	5,00	21,00	9,55

Con los valores de iluminancia de los 9 puntos se calcula el nivel de iluminancia promedio conforme a la expresión del apartado 7.4.2.1, con la cual se obtienen los valores de la Tabla B4.

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

Tabla B4. Niveles de iluminancia promedio (lx) para cada alternativa de sustitución

Sistema	Nivel de iluminancia promedio (lx)
Vapor de sodio alta presión optimizado de 100 W, TCC 2 100 K	15,10
Aditivos metálicos arranque por pulso de 100 W, TCC 3 500 K	11,00
Aditivos metálicos cerámicos de 90 W, TCC 2 850 K	15,00
Inducción electromagnética de 120 W, TCC 5 000 K	11,30
LEDs de 86 W, TCC 5 000 K	14,70

El nivel mantenido de iluminancia promedio se obtiene por medio de la depreciación del flujo luminoso (DFL) a las 12 000 horas de vida y el factor de depreciación por ensuciamiento del luminario (F_E), tal como establece el apartado 7.4.2.2 de esta propuesta de actualización. Por ejemplo, para el sistema de vapor de sodio alta presión optimizado, el apartado 7.4.2.2 indica una DFL de 0,895, mientras que el valor mínimo del F_E que se debe emplear es de 0,90, independientemente de la tecnología:

$$\text{Nivel mantenido de iluminancia promedio} = E_{prom} \times DFL \times F_E = 15,1 \times 0,895 \times 0,9 = 12,16 \text{ lx}$$

Al realizar este cálculo para las otras alternativas, se obtienen los valores de la Tabla B5:

Tabla B5. Niveles mantenidos de iluminancia promedio (lx) para cada alternativa de sustitución

Sistema	Nivel de iluminancia promedio (lx)	DFL	F_E	Nivel mantenido de iluminancia promedio (lx)
Vapor de sodio alta presión optimizado de 100 W, TCC 2 100 K	15,10	0,895	0,90	12,16
Aditivos metálicos arranque por pulso de 100 W, TCC 3 500 K	11,00	0,65	0,90	6,44
Aditivos metálicos cerámicos de 90 W, TCC 2 850 K	15,00	0,735	0,90	9,92
Inducción electromagnética de 120 W, TCC 5 000 K	11,30	0,9	0,90	9,15
LEDs de 86 W, TCC 5 000 K	14,70	0,92	0,90	12,17

Finalmente, para obtener el nivel mantenido de iluminancia mesópica promedio se debe convertir el nivel mantenido de iluminancia promedio –que es un valor de iluminancia fotópica– a su equivalente mesópico, para lo cual se deben emplear las tablas del Apéndice A de esta propuesta de actualización; la tabla que se debe utilizar depende del tipo de pavimento.

Para el ejemplo, el tipo de pavimento es R_1 por lo que se debe emplear la Tabla A1 de esta propuesta. Particularmente, el sistema de vapor de sodio alta presión optimizado tiene un nivel mantenido de iluminancia promedio de 12,16 lx y una relación S/P=0,64, por lo que de acuerdo a la Tabla A1, le corresponde un nivel mantenido de iluminancia mesópica promedio de 11,16 lx_{mes} que es el valor mas cercano por defecto, como se muestra en la siguiente figura:

Tabla A1. Valores de iluminancia mesópica para pavimentos tipo R_1 (lx_{mes})

S/P	Iluminancia fotópica [lx]																			
	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	
0,40	10,05	10,52	10,99	11,46	11,93	12,41	12,88	13,36	13,84	14,31	14,79	15,26	15,74	16,23	16,70	17,18	17,67	18,15	18,63	
0,45	10,18	10,65	11,13	11,60	12,07	12,55	13,03	13,51	13,98	14,46	14,94	15,42	15,90	16,38	16,86	17,34	17,83	18,31	18,79	
0,50	10,31	10,78	11,26	11,73	12,21	12,69	13,17	13,65	14,13	14,61	15,09	15,57	16,05	16,54	17,02	17,50	17,99	18,47	18,95	
0,55	10,43	10,91	11,39	11,87	12,35	12,83	13,31	13,79	14,27	14,75	15,24	15,72	16,20	16,69	17,18	17,66	18,14	18,63	19,12	
0,60	10,56	11,04	11,52	12,00	12,48	12,96	13,44	13,93	14,41	14,90	15,38	15,87	16,35	16,84	17,33	17,81	18,30	18,79	19,28	
0,65	10,69	11,16	11,65	12,13	12,61	13,10	13,58	14,07	14,55	15,04	15,53	16,01	16,50	16,99	17,48	17,97	18,46	18,94	19,43	
0,70	10,80	11,29	11,77	12,26	12,74	13,23	13,72	14,21	14,69	15,18	15,67	16,16	16,65	17,14	17,63	18,12	18,61	19,10	19,59	

Los niveles mantenidos de iluminancia mesópica promedio para las demás alternativas de sustitución se muestran en la Tabla B6.

Tabla B6. Niveles mantenidos de iluminancia mesópica promedio (lx_{mes}) para cada alternativa de sustitución

Sistema	Nivel mantenido de iluminancia promedio (lx)	Nivel mantenido de iluminancia mesópica promedio (lx_{mes})
Vapor de sodio alta presión optimizado de 100 W, TCC 2 100 K	12,16	11,16
Aditivos metálicos arranque por pulso de 100 W, TCC 3 500 K	6,44	7,44
Aditivos metálicos cerámicos de 90 W, TCC 2 850 K	9,92	10,51
Inducción electromagnética de 120 W, TCC 5 000 K	9,15	10,74
LEDs de 86 W, TCC 5 000 K	12,17	13,73

De acuerdo a la Tabla 3 de esta propuesta de actualización, una vía rápida con un pavimento tipo R_1 debe cumplir con un nivel mantenido de iluminancia mesópica promedio de 9,24 lx_{mes} , por lo que únicamente la alternativa de aditivos metálicos de arranque por pulso no cumple con el valor requerido.

B.5 Cálculo de las relaciones de uniformidad

Para calcular las relaciones de uniformidad que se establecen en el apartado 7.4.3 se deben identificar los valores de iluminancia mínima e iluminancia máxima de los nueve puntos de medición y adicionalmente se debe emplear el nivel de iluminancia promedio; los valores de las relaciones de uniformidad para cada alternativa se muestran en la Tabla B7.

Tabla B7. Relaciones de uniformidad para cada alternativa de sustitución del ejemplo

Sistema	E_{min}	E_{max}	E_{prom}	E_{prom} / E_{min}	E_{max} / E_{min}
Vapor de sodio alta presión optimizado de 100 W, TCC 2 100 K	6,25	33,00	15,10	2,40	5,30
Aditivos metálicos arranque por pulso de 100 W, TCC 3 500 K	5,61	22,00	11,00	2,00	3,90
Aditivos metálicos cerámicos de 90 W, TCC 2 850 K	5,34	28,00	15,00	2,80	5,20
Inducción electromagnética de 120 W, TCC 5 000 K	4,48	22,00	11,30	2,50	4,90
LEDs de 86 W, TCC 5 000 K	5,00	26,00	14,70	2,90	5,20

De acuerdo a la Tabla 3 de esta propuesta de actualización, una vía rápida debe cumplir con una relación de uniformidad de iluminancia promedio entre iluminancia mínima no mayor a 3 y una relación de iluminancia máxima entre iluminancia mínima no mayor a 5, ambas con una tolerancia del 10%; por lo tanto, cada una de las alternativas de sustitución cumplen con los valores máximos permitidos de las relaciones de uniformidad.

Nota: Este Apéndice informativo se limita a ejemplificar la aplicación de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 y su respectiva metodología. Los valores contenidos y sus conclusiones no pretenden ser una generalización sobre las tecnologías utilizadas en el ejemplo. Para cada tecnología disponible existen un sinnúmero de fabricantes, modelos y características, las cuales deben ser consultadas y verificadas para su correcta aplicación de acuerdo a las necesidades de cada proyecto y conforme a la normatividad vigente aplicable.



VI. Beneficios esperados con la implementación de la propuesta

La presente propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 tiene como objetivo principal promover el incremento de la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de vialidades. En este sentido, los elementos que integran la propuesta, están basados en la adopción del sistema de fotometría mesópica, la asimilación de los avances en la industria de la iluminación y las deficiencias que muestra la normatividad nacional en el caso particular del alumbrado de vialidades.

Se considera que lo mejor es que una misma norma contenga las especificaciones relativas a los niveles de iluminación y valores de DPEA para vialidades, ya que son parámetros que están íntimamente ligados. Sin embargo, es importante puntualizar que los distintos elementos que conforman la presente propuesta pueden ser integrados a la normatividad nacional de diferentes maneras; por ejemplo, se pueden actualizar las especificaciones y método de prueba del Artículo 930 de la NOM-001-SEDE-2005, y al mismo tiempo actualizar los índices energéticos de la NOM-013-ENER.

Independientemente de la manera, la implementación del contenido central de la propuesta –que son las especificaciones en conjunto con el método de prueba–, promovería indudablemente un aumento significativo de la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de vialidades, además de definir una metodología sistemática para evaluarlos.

VI.1 Beneficios en cuestión normativa

Como se mencionó anteriormente, al analizar la NOM-001-SEDE-2005 y la NOM-013-ENER-2004, se encontraron diversas deficiencias e inconsistencias en ambas normas. Probablemente, el mayor inconveniente era la falta de un método de prueba que indicará la forma concreta de evaluar los niveles de iluminación.

En la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 se contemplan cada uno de los problemas que se encontraron en ambas normas, con el objetivo de que su aplicación fuera más clara y no quedaran vacíos a la libre interpretación.

En general, en cuanto a la aplicación de la norma, las principales ventajas que presenta la propuesta de actualización en comparación con la NOM-001-SEDE-2005 y la NOM-013-ENER-2004, se encuentran en el campo de aplicación, la vinculación entre ambas normas y el método de prueba.

Campo de aplicación. Tanto la NOM-001-SEDE-2005 y la NOM-013-ENER-2004 abarcan aplicaciones que, aunque pueden clasificarse dentro del alumbrado público, tienen características diferentes, por lo que cada una requiere de un método de prueba y especificaciones particulares.

Con base en lo anterior, los alcances de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 se limitaron al alumbrado de vialidades, aplicación que representa la mayor cantidad de luminarios dentro del alumbrado público; el documento resultante no tiene una extensión tan grande como la hubiera tenido si se hubiera incluido el alumbrado exterior, el alumbrado de estacionamientos públicos, así como de túneles y pasos a desnivel, además, es más fácil de entender ya que está enfocado a una sola aplicación.

Por otro lado, el objetivo y campo de aplicación de la NOM-013-ENER-2004 indican que dicha norma se debe aplicar para instalaciones nuevas, incluyendo las ampliaciones a las instalaciones ya existentes.

Sin tener datos oficiales, es evidente que la carga conectada ya instalada en el alumbrado de vialidades es muchísimo mayor a la carga que pueden representar los proyectos nuevos; por tal motivo el campo de aplicación de la propuesta de actualización incluye además a los proyectos de sustitución de equipos, tales como los proyectos de ahorro de energía; de esta manera, ningún proyecto de alumbrado de vialidades se queda fuera de la normatividad y tiene que cumplir con los valores de eficiencia energética establecidos.

Vinculación entre ambas normas. Existe una vinculación entre la NOM-001-SEDE-2005 y la NOM-013-ENER-2004, la cual se aprecia en la clasificación y forma de aplicar la tabla valores de DPEA para el alumbrado de vialidades.

En cuanto a la clasificación, al incluir las especificaciones de ambas normas, la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 especifica niveles de iluminación, relaciones de uniformidad y DPEA para cada uno de los tipos de vialidades definidos, es decir, no hay tipos de vialidades que queden sin definir o sin alguna especificación.

Además, la propuesta de actualización ordena de manera diferente los valores de DPEA requeridos, concordando con la tabla de niveles de iluminación, de manera que a cada tipo de vialidad y tipo de pavimento le corresponde un valor máximo de DPEA en función del ancho de calle, pero independiente de su nivel de iluminación. Lo anterior facilita la aplicación de las especificaciones y método de prueba definidos.

Método de prueba. El mayor defecto de la NOM-001-SEDE-2005, es el hecho de que no establece el método de prueba para evaluar los niveles de iluminación promedio mantenidos ni las relaciones de uniformidad.

En términos legales, la unidad de verificación tiene la facultad de aplicar el método que considere adecuado, o por el otro lado, el usuario tiene la posibilidad de ampararse ante la aplicación de un método que no crea que sea el apropiado –como se dice en el argot legal, lo que no está expresamente prohibido, está permitido–; además, no se puede garantizar la reproducibilidad de los resultados ya que cada quien puede utilizar un método diferente.

Adicionalmente, si no está estipulado que la unidad verificadora debe medir los niveles de iluminación en campo, no es necesario que lo haga, por lo que puede autorizar una instalación únicamente con revisar los cálculos teóricos, los cuales pueden ser fácilmente manipulados y, en dado caso, ser aprobados si no se toma la precaución de revisarlos apropiadamente.

La propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 define un método de prueba concreto y reproducible para evaluar los niveles de iluminación con la finalidad de evitar este tipo de inconvenientes, que pueden ser usados para evadir el cumplimiento de la normatividad.

Algo similar aplica para el método de prueba definido en la NOM-013-ENER-2004, que incluso tiene una estructura inapropiada para una norma. De acuerdo a lo mencionado en la metodología y procedimiento de la norma actual, la potencia de los equipos debe ser obtenida de los datos del fabricante, sin embargo, en algunos casos ocurre –particularmente con fabricante poco serios–, que la potencia real de los equipos difiere considerablemente de la potencia nominal

especificada por el fabricante; por esta razón, es conveniente que los fabricantes tengan que demostrar la potencia de sus equipos por medio de un informe de pruebas de un laboratorio certificado, tal como se pide en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004.

En general, cada una de las modificaciones que conforman la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, tiene la intención de dar una mayor certeza a la regulación y evaluación de los sistemas de alumbrado de vialidades, con el objetivo de asegurar que los proyectos que se realicen estén correctamente diseñados y especificados.

VI.2 Beneficios generales

Al incrementar la eficiencia energética requerida para los sistemas de alumbrado de vialidades se promueve el ahorro de energía eléctrica, ya que se hace necesario proporcionar un mismo nivel de iluminación con una menor potencia, sea en proyectos nuevos o de sustitución de equipos, con base en el campo de aplicación de la propuesta de actualización.

De manera general, el ahorro de energía eléctrica –y los proyectos de ahorro de energía– representa diversos beneficios para los diferentes sectores involucrados; particularmente, en el caso de los proyectos de alumbrado de vialidades se pueden lograr los siguientes beneficios:

Para los usuarios del servicio de alumbrado. Cuando se proporciona una iluminación adecuada en el alumbrado de vialidades los usuarios se sienten más seguros y tienen un mejor desempeño visual:

- Aumento de la sensación de seguridad y bienestar de las personas. Psicológicamente las personas se sienten más seguras y tranquilas en la calle al percibir una mejor iluminación.
- Disminución de accidentes, tráfico vehicular y crímenes. Una iluminación adecuada ayuda a mejorar el reconocimiento de detalles y la velocidad de reacción, por consiguiente tanto los conductores como los peatones tienen un mejor desempeño visual.
- Incremento de la actividad comercial y el consumo de bienes. Al aumentar la sensación de seguridad, se incrementa el movimiento urbano y la actividad comercial.

Para la sociedad en general. Al reducir el consumo de energía eléctrica, se promueve la conservación de los recursos naturales y el medio ambiente:

- Conservación de los recursos naturales. De acuerdo a datos de la Secretaría de Energía, en 2011 el 79,5% de la energía eléctrica del país se generó por medio de combustibles fósiles –combustóleo, carbón y gas natural–, en plantas termoeléctricas, carboeléctricas, duales y de ciclo combinado.

- Reducción de emisiones contaminantes. La generación de energía eléctrica por medio de combustibles fósiles conlleva la emisión de compuestos contaminantes como el bióxido de carbono, principal causante del calentamiento global.
- Disminución de desechos tóxicos. En términos prácticos, la presente propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 promueve la migración a tecnologías que no solo son más eficientes, sino que también tienen un menor contenido de compuestos tóxicos como el mercurio, incluso en el caso de los LEDs ni siquiera contienen dicha sustancia.

Para la compañía suministradora. Los proyectos de ahorro de energía son favorables para las compañías suministradoras cuando son empresas públicas, como es el caso de CFE, ya que les permiten reducir sus costos sin verse afectadas por la disminución de sus ventas. Bajo esta consideración, los beneficios para la compañía suministradora son los siguientes:

- Reducción de la demanda de energía en horario punta y base. En general, el alumbrado público funciona entre 7 pm y 7 am, es decir, en el horario de mayor demanda y en el de menor demanda del sistema eléctrico nacional. Al reducir la potencia de los equipos, se reduce a su vez la demanda de energía en su horario de servicio.
- Liberación de una parte de la capacidad del sistema eléctrico. Reducir la demanda, permite que el sistema eléctrico trabaje a un porcentaje menor de su capacidad; particularmente el horario punta es de mayor impacto, ya que permite que la demanda máxima del sistema eléctrico nacional se aminore.
- Disminución de las pérdidas del sistema eléctrico. Las pérdidas técnicas de un sistema eléctrico se refieren a la energía que se disipa en forma de calor en los procesos de transmisión, transformación y distribución, debido a la circulación de la corriente eléctrica; al bajar la demanda eléctrica disminuye la corriente de los circuitos y se reduce la caída de voltaje.
- Reducción de las necesidades de mantenimiento. Los niveles de corriente que circulan por los equipos que integran un sistema eléctrico impactan en el desgaste que tienen y por consecuencia en el mantenimiento que requieren.
- Diferimiento de inversiones. El país destina una cantidad significativa de recursos económicos para el desarrollo y mantenimiento del sistema eléctrico, de manera que se pueda abastecer la demanda de energía; al reducir la demanda, se libera parte de la capacidad del sistema eléctrico por lo que se pueden retrasar algunas inversiones destinadas para su crecimiento.

Para los fabricantes, distribuidores y consultores. En general, todos los involucrados en la industria de la iluminación se benefician con el desarrollo de proyectos de ahorro de energía para el alumbrado de vialidades:

- Incremento en la demanda de productos de iluminación. La mayoría de los fabricantes y distribuidores manejan una línea de productos de alta eficiencia, la cual tendría mayor demanda ante el interés de implementar proyectos de ahorro de energía en el alumbrado de vialidades.
- Mayor inversión en desarrollo e investigación. Generalmente, la eficiencia energética es uno de los argumentos de venta de los fabricantes de iluminación, razón por la que buscan desarrollar equipos más eficientes y de larga vida. En particular, gran parte de los fabricantes están promoviendo la implementación de tecnologías de luz blanca más eficientes y hacen grandes inversiones en el desarrollo e investigación de productos de LEDs; la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 permite evaluar de manera más adecuada a estas tecnologías, lo cual incentiva la investigación y desarrollo en la industria de la iluminación.
- Aumento en la demanda de los servicios de consultoría. Ante el interés de realizar proyectos de ahorro de energía, surge la necesidad de contar con la asesoría de empresas de consultoría especializadas en iluminación y ahorro de energía.

Para los gobiernos municipales y estatales. El alumbrado público es administrado por los gobiernos municipales y estatales, quienes también se benefician de los proyectos de ahorro de energía en el alumbrado de vialidades:

- Disminución del consumo de energía y de la facturación eléctrica. Una parte importante del presupuesto de los gobiernos municipales es empleada para el pago de la facturación eléctrica por concepto de alumbrado público; es evidente que al ahorrar energía, se reduce la facturación eléctrica.
- Liberación de recursos económicos. Al reducir la facturación eléctrica, se liberan recursos que pueden ser empleados para otras necesidades presupuestales, como es el caso de los proyectos de carácter social.
- Mejoramiento de la imagen del gobierno ante la ciudadanía. Proporcionar un buen alumbrado público a la ciudadanía, permite a los gobiernos aumentar los niveles de seguridad, reducir los accidente vehiculares, mejorar la imagen urbana e impulsar el crecimiento del PIB.

Los beneficios mencionados anteriormente favorecen a todo el país, especialmente en los aspectos energético, económico y ambiental.

Adicionalmente, al implementar esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, se puede decir que México sería punta de lanza, ya que hasta el momento ningún país ha implementado en su normatividad el sistema de fotometría mesópica de la CIE. En el Handbook de la IES edición 2012, ya se incluyeron algunos aspectos del sistema de fotometría mesópica de la CIE, sin embargo, las especificaciones de la norma ANSI/IES RP-8-00 siguen estando en términos fotópicos.

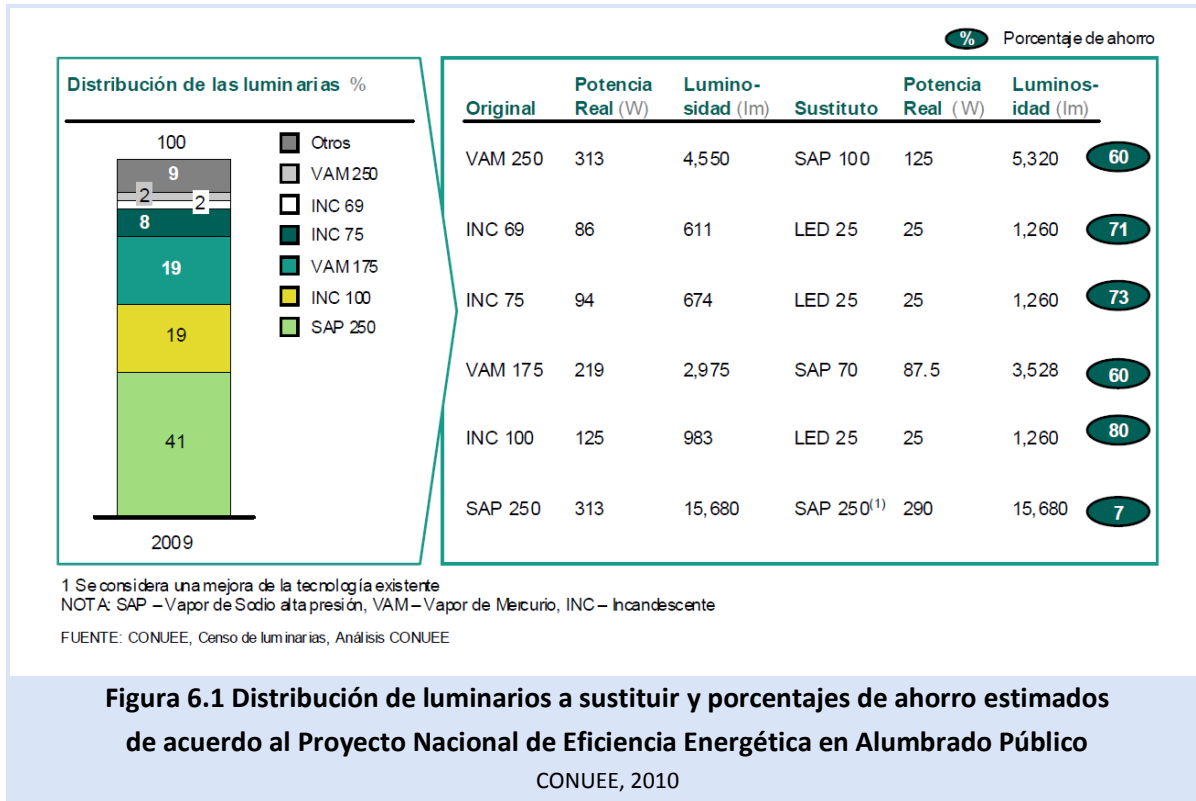
VI.3 Estimación de algunos beneficios energéticos, económicos y ambientales

En general, para poder calcular los beneficios de un proyecto de ahorro de energía, es necesario realizar un diagnóstico energético; un estudio de esta naturaleza está enfocado a conocer las características del caso base para analizarlas, establecer medidas de ahorro y evaluarlas en términos técnicos y económicos; en general, en la medida en que la caracterización del caso base y del caso propuesto estén más cercanos a la realidad, mayor es la exactitud con la que se puede calcular el ahorro de energía y los demás parámetros que se derivan.

En el caso del alumbrado público no existe un estudio a nivel nacional que indique cuál es su situación actualmente; no se tienen datos de la carga conectada total, el número de equipos instalados, su potencia, el porcentaje de equipos de cada tecnología, la proporción de equipos en servicio medido, etc.

Cabe mencionar que el documento correspondiente al Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público –que fue elaborado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) y publicado en diciembre de 2010–, no refiere la existencia de algún estudio, ni incluye datos específicos sobre el alumbrado público a nivel nacional.

Este documento menciona que con la aplicación del Proyecto Nacional se prevé la sustitución de un millón de luminarios que, supuestamente, representan el grueso del impacto potencial y que su sustitución generaría abatimientos de energía estimados en alrededor del 30% –no se menciona si este porcentaje es sobre el millón de luminarios contemplados o sobre el total del país–; adicionalmente incluye una tabla con las posibles medidas de sustitución y una gráfica con la distribución de los luminarios por tecnología –cuya fuente es un censo de luminarios de CONUEE–, las cuales pueden observarse en la Figura 6.1. Lamentablemente, estos datos no son suficientes para evaluar los posibles ahorros que se pueden derivar de la implementación de la presente propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004.



Ante la falta de datos oficiales para realizar una estimación de los ahorros que se pueden obtener con la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, se puede realizar un cálculo aproximado basándose en algunos datos disponibles:

- Cantidad de luminarios en algunas ciudades y municipios. De acuerdo a datos del Gobierno del Distrito Federal, en 2008 se tenían instalados más de 350 000 luminarios en las vialidades de la Ciudad de México. Conforme al gobierno del municipio de Centro, Tabasco, el total de luminarios instaladas de acuerdo a un censo de 2010 es de 43,709. Por otro lado de acuerdo a algunos artículo publicados en internet, a fines de 2010 en el municipio de P. Othon Blanco, Quintana Roo, se presentó un proyecto para remplazar 25 000 luminarios por equipos de LEDs, mientras que a principios de 2012 se sustituyeron 3 000 lámparas en el municipio de Ixtacuixtla de Mariano Matamoros, Tlaxcala.
- En el Distrito Federal, de acuerdo a datos del Observatorio Ciudadano de la Ciudad de México, en 2008 el 44% de los luminarios en las vías principales eran de VAM, el 47,6% de VSAP y el 8,4% de otras tecnologías.
- Potencia nominal de los luminarios. Los luminarios de VSAP y VAM que se comercializan para alumbrado de vialidades son de una potencia nominal de 70 a 250W. En general estas son las tecnologías más empleadas en el alumbrado público.

- Número de municipios a nivel nacional. En México existen 2 441 municipios y 16 delegaciones. La superficie territorial es variable y no existe una relación fija entre la superficie y la cantidad de población.

Como se puede observar, el número de luminarios en cada municipio es muy variable; en general, aunque no se encontraron datos de municipios con menos luminarios, es evidente que un gran porcentaje de los municipios debe tener menos de 1 000 luminarios.

Para fines del cálculo deseado, se considera un total de 6 millones de luminarios destinados al alumbrado de vialidades en todo el país –que representarían un promedio de 2 314,6 luminarios por cada municipio, sin considerar las delegaciones del Distrito Federal–.

Por otro lado, las potencias altas –mayores a 150 W– usualmente se utilizan en las vialidades de mayor importancia, por lo que representan un porcentaje reducido del total de sistemas instalados; probablemente la potencia más utilizada en el alumbrado de vialidades es la de 150 W seguida por la de 100 W. Basándose en esta suposición, se utiliza como promedio para el cálculo de la carga conectada total, la potencia nominal de 150 W.

En el caso de las pérdidas del balastro, para el cálculo se considera que la potencia de línea de los sistemas es 25% mayor a la potencia nominal de la lámpara –que es el valor que utiliza CFE para los servicios no medidos–; no obstante, es claro que para potencias altas la proporción de las pérdidas es menor y para potencias bajas es mayor, como se observa en el Anexo E.

Para el cálculo del consumo de energía se tomó en cuenta que los sistemas operan 12 horas al día, los 365 días del año. La Tabla 6.1 muestra el resumen de los cálculos realizados a partir de las suposiciones anteriores:

Tabla 6.1 Cantidad de luminarios, carga conectada y consumo de energía anual estimados para el alumbrado de vialidades

Cantidad de luminarios [adim]	Carga conectada [MW]	Consumo anual de energía [GWh]
6 000 000	1 125	4 927,5

Es importante saber si los valores obtenidos son congruentes con los algunos datos oficiales que se encuentran disponibles. Particularmente, el alumbrado público –que incluye alumbrado de vialidades y exteriores– junto con el bombeo municipal, son los mayores consumidores clasificados dentro del sector servicios, por lo que es de suponer que el consumo del alumbrado de vialidades debe ser menor al consumo del sector servicios; en este sentido, de

acuerdo a la secretaría de energía, en 2011 las ventas de energía eléctrica al sector servicios ascendieron a 8 068 GWh, mientras que las ventas totales fueron de 200 946 GWh. Con base en estos datos, se puede concluir que el valor obtenido para el consumo anual de energía de los sistemas de alumbrado de vialidades, es congruente con el consumo total del sector servicios ya que representa el 61,1% del mismo; lo anterior se hace extensivo a la carga conectada calculada, considerando que el valor de 12 horas de operación para los sistemas de alumbrado público es un valor ampliamente aceptado en la práctica.

Para calcular los beneficios esperados, al no tener al menos la distribución de los luminarios por tecnología y potencia, es necesario estimar que porcentaje de los luminarios tiene potencial de ahorro de energía. En general la mayoría del alumbrado público del país sigue teniendo luminarios de VSAP y en menor medida de VAM; en algunos casos ya se deben tener luminarios con ópticas y balastos más eficientes, sin embargo, aun en esas instalaciones se tiene potencial de ahorro; por otra parte, en los últimos años se han implementado algunos proyectos con VAM cerámico, inducción y LEDs, en estos casos sí es difícil reducir aún más el consumo manteniendo los mismos niveles de iluminación.

Tomando en cuenta lo anterior, para el cálculo del ahorro potencial se considera que el 20% de los sistemas no son potencialmente reemplazables y que el porcentaje restante puede ser sustituido con alguna de las tecnologías de última generación teniendo un ahorro considerable; no obstante, también se calcula un escenario conservador en el que solo el 50% de los sistemas tienen potencial para ser reemplazados. La carga conectada y el consumo de energía desglosados para ambos escenarios se muestran en la Tabla 6.2:

Tabla 6.2 Escenarios considerados para el cálculo de los beneficios esperados (Situación actual)

Escenario	Luminarios	Cantidad de luminarios [adim]	Porcentaje [%]	Carga conectada [MW]	Consumo anual de energía [GWh]
Total	Luminarios totales en el país	6 000 000	100	1 125,0	4 927,5
Escenario 1 (80% de los sistemas son potencialmente reemplazables)	Actualmente eficientes	1 200 000	20	225,0	985,5
	Potencialmente reemplazables	4 800 000	80	900,0	3 942,0
Escenario 2 (50% de los sistemas son potencialmente reemplazables)	Actualmente eficientes	3 000 000	50	562,5	2 463,8
	Potencialmente reemplazables	3 000 000	50	562,5	2 463,8

Capítulo IV. Beneficios esperados con la implementación de la propuesta

Los valores de DPEA de la presente propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, son en promedio 26% menores a los valores de la norma actual; sin embargo, cabe recalcar que para obtener esos valores se tomaron en cuenta los valores máximos que se obtuvieron en cada caso con las tecnologías de VSAP optimizado, VAM cerámico, inducción y LEDs –y en algunos casos VSAP y VAM PS–, por lo que en la mayoría de los casos, para un mismo nivel de iluminación mesópico se encontraron niveles de DPEA aun menores. En general, se puede considerar que el potencial de ahorro es aún mayor al 26%, incluso en algunas simulaciones con LEDs se observa que se pueden lograr ahorros hasta del 50%, no obstante tampoco es factible sustituir todo con LEDs.

Con base en lo anterior, se considera que para el porcentaje total de sistemas potencialmente reemplazables, se puede lograr un reducción promedio del 30% sobre su carga conectada actual –al término de un plazo de 10 a 15 años–, como resultado de la implementación de la presente propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004.

Sin duda, la implementación de la propuesta también impactaría en las instalaciones nuevas, sin embargo, para efectos del cálculo no fue considerado un porcentaje de crecimiento, aunque con base en datos de la secretaría de energía, el sector servicios crece a un ritmo de 4% anual aproximadamente. Los resultados obtenidos bajo las suposiciones anteriores se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6.3 Estimación de la reducción de carga conectada y consumo de energía de los sistemas de alumbrado de vialidades (A largo plazo a partir de la implementación de la propuesta)

Escenario	Luminarios	Reducción en carga conectada	Reducción en consumo anual de energía	Porcentaje de reducción
		[MW]	[GWh]	[%]
Escenario 1 (80% de los sistemas son potencialmente reemplazables)	Actualmente eficientes	0,0	0,0	0,0
	Potencialmente reemplazables	270,0	1 182,6	30,0
	Total	270,0	1 182,6	24,0
Escenario 2 (50% de los sistemas son potencialmente reemplazables)	Actualmente eficientes	0,0	0,0	0,0
	Potencialmente reemplazables	168,8	739,1	30,0
	Total	168,8	739,1	15,0

De acuerdo al escenario 1, a largo plazo se puede lograr una reducción en la carga conectada de 270 MW y un ahorro de energía de 1 182,6 GWh anuales que representan el 24% del consumo total de los sistemas de alumbrado de vialidades que se consideraron para el cálculo. Para el escenario 2 la reducción en la carga conectada es de 168,8 MW con un ahorro de energía de 739,1 GWh anuales que corresponden al 15%. Con estos valores se pueden calcular otros beneficios a partir de los siguientes datos:

- **Generación bruta de energía.** Como se mencionó anteriormente, en 2011 la generación bruta de energía fue de 257 884 GWh en total. Se tiene una diferencia de 56 938 GWh respecto a las ventas totales –consumo nacional– en el mismo periodo que es debido a las pérdidas del sistema eléctrico.
- **Demanda máxima nacional.** De acuerdo con datos de la SENER, en 2009 la demanda máxima anual se presentó en agosto y fue de 33,568 MW. No se encontró algún dato del promedio de la demanda máxima a lo largo del año.
- **Pérdidas en el sistema eléctrico.** Con base en datos de CFE, las pérdidas totales del Sistema Eléctrico Nacional en 2009 fueron de 42 452 GWh, de los cuales poco más de 25 000 GWh fueron debidos a pérdidas técnicas, es decir, un 58,9% de las pérdidas totales y un 10,7 % de la generación bruta total en 2009 –que fue de 233 472 GWh–; no se encontraron datos desglosados para 2011.
- **Consumo de combustibles.** Para la generación total de energía eléctrica en 2011 se emplearon 64 564 miles de barriles de combustóleo, 2 964 miles de barriles de diesel, 15 521 miles de toneladas de carbón y 390 854 millones de pies cúbicos de gas natural –sin considerar el consumo de gas natural de los productores externos de energía–.
- **Emisión de gases de efecto invernadero (GEI).** El consumo de electricidad tiene una equivalencia con la cantidad de gases de efecto invernadero que se emiten al ambiente, como consecuencia del proceso de generación; el coeficiente más utilizado para evaluar la emisión de GEI es el de las toneladas de CO₂ equivalente por cada MWh. De acuerdo con datos del Programa GEI México, los valores de este coeficiente para el sistema interconectado de 2005 a 2010, son los que se muestran en la siguiente Tabla 6.4:

Tabla 6.4 Valores del coeficiente de emisión de GEI de 2005 a 2010 de acuerdo con el Programa GEI México

Año	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ton CO ₂ eq. / MWh	0,5557	0,5283	0,5208	0,4698	0,5057	0,4946

Capítulo IV. Beneficios esperados con la implementación de la propuesta

Con base en los datos anteriores se pueden calcular, de manera aproximada, los siguientes beneficios anuales que se generarían a largo plazo a partir de la implementación de esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004:

**Tabla 6.5 Estimación de otros beneficios
(A largo plazo a partir de la implementación de la propuesta)**

Beneficios	Escenario 1	Escenario 2
Porcentaje de reducción respecto al consumo de energía eléctrica nacional ¹ [%]	0,59	0,37
Porcentaje de reducción respecto a la demanda máxima nacional ² [%]	0,80	0,50
Reducción anual de pérdidas técnicas por disminución del consumo ¹ [GWh]	131,4	82,1
Reducción anual de consumo combustóleo ³ [miles de barriles]	380,0	237,5
Reducción anual de consumo de diesel ⁴ [miles de barriles]	17,4	10,9
Reducción anual de consumo carbón ⁴ [toneladas]	91,3	57,1
Reducción anual de consumo de gas natural ⁴ [millones de pies cúbicos]	2 300,2	1 437,6
Reducción anual de emisión de bióxido de carbono ⁵ [Ton de CO ₂ equivalente]	579 474,0	362 171,3

¹ Tomando como base el consumo nacional en 2011.

² De acuerdo con el valor demanda máxima nacional en 2009.

³ Considerando pérdidas técnicas del 10% y tomando como base la reducción del consumo eléctrico para cada escenario.

⁴ Tomando en cuenta el porcentaje de reducción del consumo eléctrico nacional y el consumo de combustibles de 2011.

⁵ Empleando un coeficiente de 0,49 Ton CO₂ equivalente/MWh. Considerando únicamente la reducción del consumo.

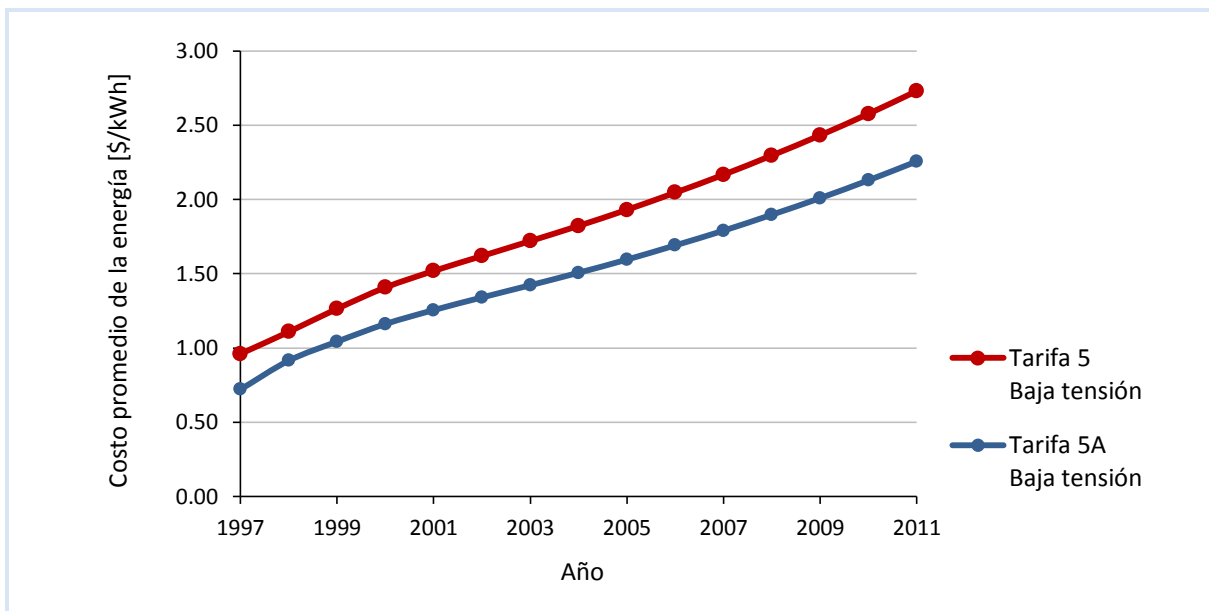
Los resultados anteriores son únicamente una aproximación de los beneficios que se pueden obtener a largo plazo a partir de la implementación de la propuesta de actualización a la NOM-013-ENER-2004; los valores fueron calculados sobre la base de algunos datos de ciertos años en particular, sin embargo, se entiende que estos se modifican a lo largo del tiempo, lo cual debe influir en los beneficios esperados. Es importante puntualizar que estos beneficios se deben alcanzar poco a poco conforme se vayan sustituyendo los equipos.

Aunque las reducciones porcentuales pueden parecer mínimas, la reducción en el consumo de energía es equiparable al consumo de energía de los estados de Campeche –consumo de 1094,7 GWh en 2010– y Nayarit –consumo de 1250,5 GWh en 2010–; mientras que el impacto en la demanda máxima es similar a la demanda máxima que exigen algunas zonas del Sistema Eléctrico Nacional, como las correspondientes a las ciudades de Oaxaca, Morelia, Colima, Ensenada y Puerto Vallarta, entre otras.

Como es de suponerse, cada uno de los beneficios anteriores representa un impacto económico para los diferentes actores que se ven favorecidos por la reducción del consumo de energía. Particularmente, en el presente trabajo solo se analizará el beneficio económico para los gobiernos municipales y estatales.

El principal beneficio económico para los gobiernos municipales y estatales se debe a la reducción de la facturación eléctrica por concepto de alumbrado público. Para alumbrado público existen 2 tipos de tarifas en México: tarifa 5 y tarifa 5A; la tarifa 5 se aplica en las zonas conurbadas del DF, Monterrey y Guadalajara, mientras que la tarifa 5A se aplica al resto del país; en ambas tarifas, el costo de la energía depende del nivel de tensión del suministro, ya sea en baja o alta tensión, y no se tiene costo por demanda.

En general, la mayoría de los sistemas de alumbrado tiene un contrato en baja tensión, en el que el costo de la energía es mayor al de media tensión. Los costos de la energía suben cada mes y especialmente en el alumbrado público no se han reducido en los últimos años, como se puede observar en la Gráfica 6.1:



Gráfica 6.1 Costo promedio anual de la energía en las tarifas eléctricas de alumbrado público

Elaboración propia con base en datos de CFE 2012

Con base en la gráfica anterior, para calcular la reducción económica en la facturación eléctrica total, derivada de los ahorros de energía anteriormente obtenidos, se emplea conservadoramente un costo de la energía de 2,50 \$/kWh, con el cual se obtienen los resultados que se indican en la Tabla 6.6.

**Tabla 6.6 Estimación de la reducción económica en facturación eléctrica
(A largo plazo a partir de la implementación de la propuesta)**

Escenario	Reducción en consumo anual de energía	Reducción anual en la facturación eléctrica
	[GWh]	[millones de pesos]
Escenario 1	1 182,6	\$2 957
Escenario 2	739,1	\$1 848

Como lo ideal es que los proyectos de ahorro de energía se paguen con los ahorros generados por la reducción de la facturación eléctrica, a partir de los datos anteriores se puede calcular de manera aproximada la inversión que debería requerir la sustitución de los equipos contemplados.

En la práctica se considera que un proyecto de ahorro de energía debe tener un periodo simple de recuperación (PSR) máximo de tres años. No obstante, en un proyecto de alumbrado de vialidades los periodos de recuperación son de 3 a 5 años dependiendo de las tecnologías que se implementen, aunque lo ideal es obtener el ahorro máximo con la inversión que se tenga disponible; sin embargo, la mayoría de los municipios prefiere que los proyectos se paguen máximo en tres años, debido a que es el tiempo que dura el periodo de gobierno en los municipios.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede estimar la inversión máxima que idealmente se necesitaría para la sustitución de los equipos en función del periodo de recuperación:

**Tabla 6.7 Estimación de la inversión máxima requerida para
la sustitución de los equipos en función del periodo simple de recuperación**

Escenario	Inversión máxima requerida [millones de pesos]		
	PSR = 3 años	PSR = 3,5 años	PSR = 4 años
Escenario 1	\$8 870	\$10 348	\$11 826
Escenario 2	\$5 543	\$6 467	\$7 391

Todos los valores anteriormente calculados sirven para tener una idea de cuál es la magnitud de los beneficios esperados con la presente propuesta de actualización.

VI.4 Dificultades para la implementación de la propuesta

Antes de ser publicadas, las normas oficiales mexicanas pasan por un proceso de normalización largo y complejo, el cual está establecido en la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización (LFMN) y que se resume a continuación:

En el Título Tercero de la LFMN se establece que las dependencias de gobierno son las encargadas de expedir normas oficiales mexicanas en las materias que se relacionan con sus respectivas atribuciones, además de constituir y presidir los comités consultivos nacionales de normalización.

Asimismo, en el Artículo 44 de la LFMN se menciona que las dependencias deben elaborar los anteproyectos de normas oficiales mexicanas y someterlos al comité consultivo correspondiente, el cual, con base en el anteproyecto, debe conformar el proyecto de norma oficial mexicana. De acuerdo al mismo artículo, las personas que estén interesadas pueden presentar propuestas de normas oficiales mexicanas a las dependencias competentes, las cuales deberán evaluarlas y, en su caso, presentarle el anteproyecto del que se trate al comité consultivo.

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía es la dependencia encargada de las normas de eficiencia energética, designadas con la clave ENER, como es el caso de la NOM-013-ENER-2004. Por su parte la NOM-001-SEDE-2005 depende directamente de la Secretaría de Energía.

Aunque no se menciona en la LFMN ni en el RLFMN, en la práctica, los anteproyectos de norma son elaborados en la colaboración con un grupo de trabajo que está conformado por dependencias, organismos, organizaciones, instituciones, colegios, especialistas y consultores, relacionados con la especialidad en cuestión; particularmente, a través de las diferentes cámaras de la industria, pueden participar los fabricantes de los productos involucrados. La dependencia que preside el grupo de trabajo se encarga de buscar un consenso para formular las especificaciones que conformaran el anteproyecto de norma.

De acuerdo al Artículo 46 de la LFMN, una vez que se entrega el anteproyecto al comité consultivo nacional de normalización respectivo, éste tiene 75 días naturales para formular observaciones; posteriormente la dependencia que elaboró el anteproyecto tiene 30 días naturales para contestar dichas observaciones y si considera que no están justificadas, puede solicitar a la presidencia del comité, que publique el proyecto de norma en el Diario Oficial de la Federación (DOF) sin modificaciones al anteproyecto.

Una vez publicado el proyecto de norma en el DOF, se tiene un periodo de 60 días naturales para que los interesados presenten comentarios al respecto; al término de este periodo el comité consultivo nacional correspondiente tiene 45 días naturales para revisar los comentarios recibidos y, en caso de que aplique, procede a realizar las modificaciones que considere pertinentes. Finalmente 15 días antes de la publicación de la norma oficial mexicana, se publican en el DOF las respuestas a los comentarios recibidos.

En resumen, la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, debe pasar por todo un proceso de evaluación, consenso y aprobación, antes de ser publicada como una norma oficial mexicana. Particularmente, en las reuniones con el grupo de trabajo pueden surgir algunos comentarios u observaciones que pueden dificultar la aprobación de la propuesta; a continuación se muestran algunos de los posibles comentarios que se considera se pueden presentar, junto con una breve respuesta a los mismos:

- **La NOM-013-ENER es una norma de eficiencia energética, no de niveles de iluminación.** Como se puede concluir al revisar el presente trabajo, la eficiencia energética en los sistemas de alumbrado está íntimamente ligada con los niveles de iluminación proporcionados; por otra parte, la NOM-001-SEDE-2005 es una norma de seguridad eléctrica, la cual no se relaciona ni con los niveles de iluminación ni con la eficiencia energética. Tener las especificaciones por separado puede provocar que se presente inconsistencias como las que se observan actualmente entre la NOM-001-SEDE-2005 y la NOM-013-ENER-2004.
- **El sistema de fotometría mesópica de la CIE no es una norma internacional.** El sistema de fotometría mesópica de la CIE fue publicado en 2010 como una recomendación técnica, sin embargo, se encuentra en proceso de estandarización para convertirse en una norma internacional; incluso, en la décima edición de *The IES Lighting Handbook* se menciona el sistema de fotometría mesópica y se indica que se pueden emplear multiplicadores mesópicos para modificar valores recomendados de iluminancia fotópica. Además, de acuerdo al Artículo 30 del RLFMN, en caso de que el anteproyecto no se apegue a las normas internacionales respectivas, se puede justificar con base en diferentes factores en razones científicamente comprobadas.
- **El método de medición de los nueve puntos no es adecuado.** La CIE y las IES definen su propio método de medición, sin embargo, ambos requieren de una cantidad considerable de puntos de medición para el cálculo del nivel promedio, por lo cual se consideraron imprácticos. En este sentido, se analizaron los resultados que se obtienen con los tres métodos a partir de simulaciones en un programa de cómputo especializado,

encontrando que el valor de iluminancia promedio obtenido con el método de los nueve puntos es en promedio 7% menor a los valores obtenidos con los métodos de la CIE y la IES. En el caso de las relaciones de uniformidad la diferencia es mayor debido a que en el método de los nueve puntos se miden puntos más críticos, por lo que se decidió dar una toleración mínima a los valores especificados.

- **Los valores de relación S/P no son adecuados.** Para la elaboración de la tabla de valores de relación S/P se consultaron diversas fuentes bibliográficas. Aunque este parámetro depende de la distribución espectral de la fuente de luz, se encontró que en gran medida puede ser caracterizado por la temperatura de color correlacionada, por lo que se elaboró una tabla en la que se identificaron los valores mínimos y máximos en función del tipo de tecnología y su TCC. Finalmente, se decidió emplear el valor medio entre los valores mínimo y máximo, aunque si el proveedor o fabricante presentan un informe de pruebas de un laboratorio certificado, se puede emplear el valor reportado.
- **La depreciación del flujo luminoso para algunas tecnologías está muy castigada.** La depreciación de las fuentes de luz es muy variable, incluso algunos fabricantes establecen rangos de depreciación y no un valor en específico; por tal motivo, y considerando que los niveles de iluminación mantenidos son los valores mínimos con los que se debe cumplir en todo momento, se consideró que era adecuado tomar el valor medio encontrado para cada tecnología; inducción y LEDs tienen una menor depreciación debido a que tienen una mayor vida. Para asegurar que los proyectos, independientemente de la tecnología, se especifiquen y diseñen considerando la depreciación adecuada, el cumplimiento de la norma puede revisarse, no únicamente al inicio, sino posteriormente cuando así se considere conveniente.
- **Los valores de DPEA son muy bajos para poderlos cumplir.** Los valores de DPEA especificados en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 fueron definidos considerando los valores máximos encontrados en un número significativo de simulaciones, considerando las tecnologías de mayor eficiencia y el método de prueba especificado en la propuesta. No obstante, los valores requeridos pueden ser ajustados en los casos en los que se tenga evidencia de que sean difíciles de cumplir.
- **La norma no es favorable para los sistemas de VSAP.** La forma en que se aplicó el sistema de fotometría mesópica para ajustar los niveles de iluminación, tuvo como objetivo no perjudicar a los sistemas de VSAP y obtener el mayor beneficio para los sistemas de luz blanca. Los valores de DPEA fueron seleccionados considerando los sistemas de VSAP optimizado, VAM cerámico, inducción y LEDs, sin embargo, en una gran

parte de los casos simulados se encontraron luminarios de VSAP y VAM PS que cumplen sin ningún problema los valores especificados.

- **La propuesta de actualización es excesivamente compleja.** Los únicos conceptos nuevos que se introducen en la propuesta de actualización, son los referentes al sistema de fotometría mesópica, cuya aplicación está perfectamente definida en el método de prueba y solo requiere emplear dos tablas; por otro lado, las unidades verificadoras respectivas ya deben estar familiarizadas con la mayoría de los conceptos necesarios para emplear el método de prueba especificado. En cualquier caso, CONUEE tiene la facultad para establecer una serie de cursos de capacitación para preparar a las unidades verificadoras que estén interesadas.
- **Dificultades para se cumpla efectivamente la normatividad.** Ciertamente se puede considerar que la NOM-001-SEDE-2005 tiene mayor jerarquía que la NOM-013-ENER-2004, e incluso en la práctica es más conocida; sin embargo, el cumplimiento efectivo de una norma depende en gran medida de los medios administrativos que se establezcan para su vigilancia; por ejemplo, CFE no debe suministrar energía eléctrica a las instalaciones que estén dentro del campo de aplicación de la NOM-001-SEDE-2005 y que no presenten el acta de la evaluación de conformidad correspondiente.

En este sentido se propone que CFE solicite el acta de la evaluación de conformidad de la NOM-013-ENER, la cual podría ser un requisito para suministrar energía a los proyectos nuevos de alumbrado de vialidades o en su caso, para reconocer los ahorros de los proyecto de sustitución de equipos –la mayor parte de los sistemas de alumbrado público no tienen un servicio medido, sino que la facturación se calcula a partir de un censo–.

En todo caso, la presente propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 no es un documento definitivo; todas las observaciones que estén propiamente argumentadas y que indiquen que es necesario realizar algún cambio, permiten fortalecer el anteproyecto final que se entregue al comité consultivo nacional correspondiente.

Conclusiones

Esta tesis tuvo como objetivo principal el desarrollo de una propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 *Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas*, considerando el sistema de fotometría mesópica recomendado por la CIE, las tecnologías más eficientes disponibles actualmente para el alumbrado público, así como las deficiencias e inconsistencias encontradas en las normas correspondientes. El propósito de la tesis fue promover un aumento significativo en la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de público del país, y en consecuencia reducir considerablemente su consumo de energía.

Por razones de extensión y para simplificar la normatividad aplicable, la propuesta se centró únicamente en el alumbrado de vialidades, que es la aplicación de mayor importancia dentro del alumbrado público.

Desde un principio se advirtió que para poder adaptar el sistema de fotometría mesópica de la CIE a la normatividad nacional, era necesario modificar los niveles de iluminación especificados en el artículo 930 de la NOM-001-SEDE-2005 *Instalaciones eléctricas (utilización)*; por esta razón, y ya que estrictamente el campo de aplicación de la NOM-001-SEDE-2005 es la seguridad de las instalaciones eléctricas, se optó por promover que dichas especificaciones se quiten de esta norma e insertarlas en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004.

Para adaptar el sistema de fotometría mesópica de la CIE a la normatividad nacional, fue de vital importancia comprender algunos aspectos sobre el funcionamiento de la visión humana, incluyendo las principales consideraciones que se tomaron en cuenta para establecer el sistema de fotometría actual y sus implicaciones; se estudiaron las características de los principales sistemas de fotometría mesópica, incluyendo el sistema recomendado por la CIE, haciendo énfasis en la manera en que se desarrollaron, los intervalos en los que se definieron, las limitaciones que tienen y la forma en que se pueden aplicar.

En resumen, el sistema de fotometría mesópica de la CIE caracteriza el desempeño visual del ojo humano en condiciones en las que predomina el uso de la visión periférica, dentro del intervalo de 0,005 a 5 cd/m^2 ; en estas condiciones el sistema de fotometría actual no describe correctamente el desempeño visual del ojo humano. Particularmente, en el alumbrado de vialidades se requiere de una visión periférica y los niveles recomendados son de 0,3 a 2 cd/m^2 ; además, cabe destacar que el sistema de fotometría mesópica de la CIE fue desarrollado para su aplicación especialmente en el alumbrado de vialidades, ya que se consideraron las tareas visuales de mayor importancia requeridas para esta aplicación. La implementación del sistema

de fotometría mesópica de la CIE beneficia a las fuentes de luz blanca –que tienen una relación S/P mayor que las fuentes de luz amarilla–, ya que requieren de un menor nivel de iluminación fotópico que las fuentes de luz amarilla, para proporcionar un nivel mesópico equivalente.

La estructura y los elementos que debía contener la propuesta de actualización, se definieron tomando como base las referencias oficiales que establecen las características que deben tener las normas nacionales, incluyendo la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su reglamento, así como la norma NMX-Z-013/1-1977 *Guía para la Redacción, Estructuración y Presentación de las Normas Mexicanas*. En general, la estructura de la propuesta resultó muy similar a la norma actual, únicamente se cambiaron los nombres de dos elementos, no obstante se realizaron cambios sustanciales en el contenido de la mayoría de los elementos que conforman la norma.

En primera instancia, para poder insertar la evaluación de los niveles de iluminación en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, se cambió el objetivo de la norma, de manera que indicara que la norma establece tanto niveles de eficiencia energética, como niveles de iluminación para el alumbrado de vialidades. Asimismo, el campo de aplicación se limitó al alumbrado de vialidades y se modificó para que incluyera no solo las instalaciones nuevas y sus ampliaciones, sino también las modificaciones correspondientes a la sustitución de equipos, ya que en términos prácticos las instalaciones existentes representan una mayor cantidad de carga.

En las referencias, se quitó la NOM-001-SEDE-2005 y se agregaron la NOM-030-ENER-2012, NMX-J-530-ANCE-2008 y la NMX-J-198-ANCE-2005, que establecen dentro de su contenido los métodos aplicables para determinar la potencia de entrada de los sistemas de LEDs, de alta intensidad de descarga y fluorescentes, respectivamente. Se incluyó la NMX-J-198-ANCE-2005 *Iluminación-Balastos para lámparas fluorescentes - Métodos de prueba*, debido a que no existe una norma nacional aplicable a los sistemas de inducción, sin embargo la especificación de Sello FIDE No. 4172 *Luminarios con lámparas de inducción*, establece el uso de esta norma para estos sistemas.

Como parte de las definiciones, se agregaron los conceptos mínimos que se requieren para la aplicación del sistema de fotometría mesópica de la CIE, además de las definiciones de cada tecnología, las cuales se consideran necesarias para la correcta aplicación de las especificaciones y método de prueba de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004.

Para la clasificación de la propuesta de actualización, se tomó la misma que establece el artículo 930 de la NOM-001-SEDE-2005, ya que la NOM-013-ENER-2004 omite las vías primarias o colectoras, que sí son consideradas por la NOM-001-SEDE-2005.

La parte más compleja y laboriosa en la elaboración de esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, fue la definición de las especificaciones y el método de prueba aplicables. Para poder definir los nuevos valores de DPEA que se establecerían en las especificaciones, era necesario conocer los valores que se pueden obtener en la práctica conforme al método de prueba propuesto, por lo que primero se determinaron las consideraciones respecto a este elemento y después se realizaron simulaciones con base en el mismo.

El método de prueba definido para la propuesta de actualización contempla mediciones en campo para determinar el nivel de iluminancia promedio, además establece la forma en que se debe calcular el nivel mantenido, lo cual no se indica en la NOM-001-SEDE-2005.

Era importante que el método de medición que se eligiera proporcionara una aproximación aceptable de los valores de iluminancia promedio y las relaciones de uniformidad, además de ser simple y práctico. En este sentido, a partir de algunas simulaciones realizadas con el programa de cómputo DIALux, se encontró que el método de los nueve puntos ofrecía resultados muy cercanos a los del método de la IES, empleando una cantidad mucho menor de puntos; particularmente en la iluminancia promedio se obtuvo una diferencia media de -6,5%, mientras que en las relaciones de uniformidad fue un poco mayor a 10%. Con base en lo anterior, se consideró adecuado establecer el método de los nueve puntos como el método para medir los niveles de iluminación dentro de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004.

El método de prueba propuesto especifica que el nivel mantenido de iluminancia promedio, se debe calcular como el producto del nivel de iluminancia promedio, por la depreciación del flujo luminoso de la fuente de luz y el factor de ensuciamiento del luminario. Para obtener la depreciación del flujo luminoso, se decidió elaborar una tabla que indicara la depreciación media para cada tecnología a las 12 000 horas de vida, tomando como referencia diversos catálogos y fichas técnicas de fabricantes; se resolvió tomar el valor a las 12 000 horas con la finalidad de promover las tecnologías de mayor vida y menor depreciación. Para el factor de ensuciamiento del luminario, se estableció un valor mínimo de 0,90, debido a que es más complicado determinar si un valor es adecuado o no, ya que depende principalmente de los tiempos de mantenimiento de cada instalación.

Para convertir los niveles de iluminación fotópicos a su equivalente mesópico de acuerdo al sistema de fotometría mesópica de la CIE, se optó por emplear la misma metodología que recomienda ASSIST para la aplicación del sistema de fotometría unificada, con la diferencia de que las tablas que se elaboraron para la propuesta están en función de la iluminancia y no de la luminancia, tomando en cuenta que en México es más común este parámetro. Adicionalmente se

elaboró una tabla con las relaciones S/P típicas de cada tecnología considerando diferentes intervalos de temperatura de color, ya que para aplicar el sistema de fotometría mesópica de la CIE es necesario conocer la relación S/P de la fuente de luz; en este caso se dejó abierta la posibilidad de que se empleara un valor diferente a la tabla siempre y cuando el fabricante los demostrara mediante el informe de pruebas correspondiente.

Otro cambio importante en el método de prueba, es que el fabricante debe demostrar el valor de potencia de entrada de cada uno de los modelos y potencias de equipos, para lo cual debe presentar los informes de prueba correspondientes realizados con base en la NOM-030-ENER-2012, la NMX-J-530-ANCE-2008 y la NMX-J-198-ANCE-2005, según aplique.

En general, cada una de las modificaciones al método de prueba, tiene la intención de dar una mayor certeza a la regulación y evaluación de los sistemas de alumbrado de vialidades, con el objetivo de asegurar que los proyectos que se realicen estén correctamente diseñados e implementados.

Posteriormente, se determinó la forma en que se debían convertir los niveles de iluminación de la NOM-001-SEDE-2005 a su equivalente mesópico. Se comprobó que la opción más viable es convertir los valores empleando la relación S/P característica de los sistemas de VSAP; de esa forma, los sistemas de VSAP no se verán perjudicados por la implementación del sistema de fotometría mesópica de la CIE, mientras que los sistemas de luz blanca tendrán un mayor potencial de ahorro. Los niveles mantenidos de iluminancia mesópica promedio especificados en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, pueden parecer menores a los niveles requeridos por la NOM-001-SEDE-2005, sin embargo son los niveles mesópicos equivalentes que se le piden actualmente a los sistemas de VSAP, los cuales por el momento, siguen siendo los más utilizados en alumbrado de público en México.

En cuanto a las relaciones de uniformidad, se mantuvieron los valores solicitados en la NOM-001-SEDE-2005; no obstante, debido a la diferencia encontrada en las simulaciones del método de medición, se decidió establecer un margen de 10% en la propuesta respecto a los valores originales.

Habiendo definido las consideraciones del método de prueba y las especificaciones de los niveles de iluminación de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, se procedió a realizar las simulaciones para determinar los intervalos de DPEA que se pueden obtener a partir de dichas especificaciones. Se simularon 9 casos diferentes, cada uno con una distribución unilateral y con diferentes valores de ancho de calle, distancia interpostal y altura de montaje; se simularon anchos de calle 7,5, 9, 10,5 y 12 m, que son los límites definidos en la tabla de DPEA

de la NOM-013-ENER-2004, con la finalidad de poder comparar directamente los valores de dicha norma con los obtenidos en las simulaciones; en cada caso se simuló cada una de las tecnologías que se utilizan en el alumbrado de vialidades, empleando diferentes potencias y modelos de luminarios de acuerdo a cada caso, dando un total de 372 simulaciones.

Para cada simulación se obtuvieron los valores de iluminancia de los nueve puntos de medición y con dichos valores se calcularon la iluminancia mesópica promedio a las 12 000 horas, las relaciones de uniformidad, la DPEA y el valor de lx_{mes}/W a las 12 000 horas; se elaboraron tablas para R_1 , R_2 y R_3 , así como R_4 , debido a que la conversión a iluminancia mesópica depende de la reflectancia.

Para su análisis, las simulaciones se clasificaron de acuerdo al nivel de iluminancia mesópica promedio a las 12 000 horas, el tipo de pavimento y el ancho de calle. Se definieron intervalos de iluminancia de acuerdo a los valores requeridos para cada tipo de vialidad, con la finalidad de determinar los intervalos de DPEA que se pueden tener en cada caso; en la mayoría de los casos se logró tener para cada intervalo –o para tipo cada vialidad– y ancho de calle, datos de al menos cuatro tecnologías. Adicionalmente, en cada intervalo se obtuvieron el valor mínimo y máximo de DPEA que se encontraron para cada tecnología.

Como resultado del análisis, considerando el valor promedio de lx_{mes}/W a las 12 000 horas que se obtuvo para cada tecnología, se encontró que los sistemas que alcanzaron una mayor eficiencia energética son los sistemas de LEDs ($0,1250 lx_{mes}/W$), seguidos por los sistemas VAM cerámico ($0,1012 lx_{mes}/W$), VSAP optimizado ($0,0893 lx_{mes}/W$) e inducción ($0,0807 lx_{mes}/W$); con un promedio inferior se encontraron los sistemas de VSAP ($0,0662 lx_{mes}/W$), VAM PS ($0,0620 lx_{mes}/W$) y VAM ($0,0410 lx_{mes}/W$).

Con base en lo anterior, los valores propuestos de DPEA se definieron tomando como base el valor máximo DPEA encontrado para las 4 tecnologías más eficientes; concretamente, los valores especificados en la propuesta de actualización son mayores al máximo encontrado con dichas tecnologías, por lo que en muchos casos varios luminarios de VSAP y VAM PS también cumplen con los valores especificados. Al tomar un valor mayor al máximo, se deja un margen de tolerancia para otros equipos, el cual es aun mayor considerando que en las simulaciones no se optimizó la aplicación de los luminarios variando el ángulo de inclinación ni el largo del brazo.

Comparando los valores de DPEA especificados en la NOM-013-ENER-2004 con los valores de la propuesta de actualización, se observa una reducción porcentual entre 15,8% y 36,8%, con un promedio general de 26%, tal como se observa en la Tabla 4.18. Los porcentajes de reducción obtenidos representan el ahorro mínimo que se puede obtener en el alumbrado de vialidades al

implementar la presente propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, ya que en muchos casos algunas tecnologías permiten ahorros mayores.

Aunque los LEDs presentaron la mayor eficiencia, es importante considerar que debido a que es una tecnología reciente, el costo de estos equipos es elevado, por lo que por el momento solo en algunos proyectos es factible su aplicación –ya sea el total de luminarios del proyecto o una parte de ellos–; algo similar sucede con los equipos de inducción, aunque su precio en general, es mucho menor al de los LEDs. Por lo anterior, los valores especificados de DPEA consideran varias tecnologías, de manera que resulte factible la implementación de proyectos basándose en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004.

Como parte de esta tesis, se analizaron de manera cualitativa los beneficios que se pueden obtener a partir de la implementación de la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004. En general, todos los sectores relacionados con el alumbrado de vialidades se pueden ver beneficiados con la implementación de esta propuesta, incluyendo los usuarios del servicio, la sociedad en general, la compañía suministradora, los fabricantes, distribuidores y consultores, así como los gobiernos municipales y estatales; además del mejoramiento del servicio de alumbrado, los principales beneficios se dan en materia energética, económica y ambiental.

Adicionalmente, se trataron de evaluar de manera cuantitativa algunos de los beneficios energéticos, económicos y ambientales, para lo cual era deseable contar con un diagnóstico oficial sobre los sistemas de alumbrado de vialidades en el país; lamentablemente no se ha realizado un estudio de esta naturaleza, por lo que únicamente se realizó un cálculo aproximado con base en algunos datos disponibles y algunas estimaciones realizadas.

Para el cálculo se consideró un total de 6 millones de luminarios destinados al alumbrado de vialidades en todo el país, tomando en cuenta un total 12 horas diarias de operación, con una potencia promedio de 150 W con pérdidas del 25%; bajo estas consideraciones la carga conectada de los sistemas de alumbrado de vialidades es de 1 125 MW, con un consumo anual de 4 927,5 GWh. Para calcular la reducción en la carga conectada y consumo de energía se consideró una reducción potencial del 30% sobre la carga de los sistemas con potencial de ahorro, contemplando dos escenarios, uno en el que el 80% de los sistemas tienen un potencial de ahorro significativo y otro con el 50% de los sistemas; bajo estas estimaciones, al término de un plazo aproximado de 10 a 15 años, se podría obtener una reducción en la demanda de 168,8 a 270 MW –que impactan directamente en la demanda máxima del país–, así como una disminución en el consumo de 739,1 a 1 182,6 GWh anuales, que representan un 15% y un 24% respectivamente, sobre el total de sistemas alumbrado de vialidades que se tomaron en cuenta para el cálculo.

Con los resultados obtenidos a partir de estas consideraciones, se realizaron cálculos para estimar otros beneficios, incluyendo el porcentaje de reducción con respecto al consumo nacional de energía (0,37 a 0,59%), el porcentaje de reducción de la demanda máxima nacional (0,50 a 0,80%), la reducción anual de pérdidas técnicas por la disminución del consumo de energía (82,1 a 131,4 GWh), la disminución anual en consumo de combustibles, así como la reducción anual de emisión de bióxido de carbono (362 171,3 a 579 474,0 Ton CO₂ equivalente).

Adicionalmente se evaluó el beneficio económico que podrían tener los municipios; considerando conservadoramente un precio medio de la energía de 2,50 \$/kWh, se determinó que se puede tener un ahorro en la facturación eléctrica de 1 848 a 2 957 millones de pesos anuales para cada escenario respectivamente. Tomando en cuenta que un proyecto de ahorro de energía se debe pagar con los ahorros, se estimó el monto de las inversiones tomando en cuenta tiempos de recuperación de 3 a 4 años, dando como resultado una inversión requerida entre 5 543 a 11 826 millones de pesos.

De manera general, con los resultados obtenidos en esta tesis se demostró que la aplicación de las nuevas tecnologías de iluminación junto con el sistema de fotometría mesópica de la CIE, permiten incrementar significativamente la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de vialidades y en consecuencia, reducir considerablemente su consumo de energía.

En este sentido, la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 que se origina a partir de esta tesis, logra integrar el sistema de fotometría mesópica de la CIE a la normatividad nacional, además de considerar los resultados que se pueden obtener con las tecnologías más eficientes disponibles actualmente para el alumbrado de vialidades. Asimismo, la propuesta corrige la mayoría de las deficiencias e inconsistencias encontradas en la NOM-013-ENER-2004 y en el artículo 930 de la NOM-001-SEDE-2005.

Idealmente, se espera que esta propuesta de actualización se utilice como base para el inicio de los trabajos correspondientes a la actualización de la NOM-013-ENER-2004, por parte del grupo de trabajo coordinado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE); bajo esta consideración, el contenido de esta propuesta de actualización no es definitivo y está abierto a las modificaciones que se consideren pertinentes.

En este sentido, el producto más importante de esta tesis son las especificaciones y el método de prueba que fueron definidos para la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004; por lo que en caso de que no resulte conveniente pasar las especificaciones del artículo 930 de la NOM-001-SEDE-2005 a la versión actualizada de la NOM-013-ENER-2004, las especificaciones y el método de prueba pueden ser insertados en la normatividad nacional de alguna otra forma.

Finalmente, es probable que la principal barrera para la implementación de esta propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004, sea el desconocimiento que se tiene sobre el sistema de fotometría mesópica de la CIE y sus implicaciones. Sin embargo, de ser implementada esta propuesta, México sería el primer país con una norma que considere el sistema de fotometría mesópica de la CIE para evaluar los niveles de iluminación y la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de vialidades, con lo que estaría un paso adelante en materia de normalización para sistemas de iluminación.

Anexo A. Características generales de las fuentes de luz por tecnología

Tabla A1. Características generales de las tecnologías de iluminación para AP

#	Marca	Modelo	Bulbo	Vida nominal [Horas]	Potencia lámpara [W]	Potencia conjunto [W]	Flujo luminoso inicial [lm]	TCC [K]	IRC	Eficacia lámpara [lm/W]	Eficacia conjunto [lm/W]
HID Aditivos metálicos convencional											
1	Osram	Metalarc Estándar	Claro	7500	175	210	12800	4000	65	73,1	61,0
2	Osram	Metalarc Estándar	Fosforado	7500	175	210	11080	3600	70	63,3	52,8
3	Osram	Metalarc Estándar	Claro	7500	175	210	12800	4200	65	73,1	61,0
4	Osram	Metalarc Estándar	Fosforado	7500	175	210	12000	3800	70	68,6	57,1
5	Osram	Metalarc Estándar	Claro	10000	250	287	20000	4000	65	80,0	69,7
6	Osram	Metalarc Estándar	Claro	10000	250	287	20000	4200	65	80,0	69,7
7	GE	Multi-Vapor Metal Halide	Claro	7500	150	185	11500	3900	65	76,7	62,2
8	GE	Multi-Vapor Metal Halide	Claro	6000	175	210	11700	4000	65	66,9	55,7
9	SLI	Metal halide standard	Claro	15000	175	210	14000	4200	65	80,0	66,7
10	SLI	Metal halide standard	Claro	15000	250	287	20500	4200	65	82,0	71,4
			Mínimo	6000	150	185	11080	3600	65	63,3	52,8
			Máximo	15000	250	287	20500	4200	70	82,0	71,4
HID Aditivos metálicos de arranque por pulso											
11	Osram	Metalarc Pulse start	Claro	15000	100	129	8500	3000	75	85,0	65,9
12	Osram	Metalarc Pulse start	Claro	15000	150	185	12900	3000	75	86,0	69,7
13	GE	Pulse Arc Multi-Vapor MH	Claro	15000	100	129	9000	3200	70	90,0	69,8
14	GE	Pulse Arc Multi-Vapor MH	Claro	15000	150	185	13300	3400	60	88,7	71,9
15	Venture	Pulse Start Uniform	Claro	15000	100	129	9000	4000	65	90,0	69,8
16	Venture	Pulse Start Uniform	Claro	15000	150	185	14000	4000	68	93,3	75,7
			Mínimo	15000	100	129	8500	3000	60	85,0	65,9
			Máximo	15000	150	185	14000	4000	75	93,3	75,7
HID Aditivos metálicos cerámicos											
17	GE	Constante color CMH T	Claro	20000	70	80	6400	3000	>80	91,4	80,0
18	GE	CMH T	Claro	15000	100	110	9200	3000	>80	92,0	83,6
19	GE	CMH T	Claro	20000	150	165	14000	3000	>80	93,3	84,8
20	Osram	HCI-TT	Claro	12000	70	78	6500	3000	87	92,9	83,3
21	Osram	HCI-TT	Claro	12000	150	167	14500	3000	90	96,7	86,8
22	Philips	Cosmopolis	Claro	30000	60	66	6800	2720	66	113,3	103,0
23	Philips	Cosmopolis	Claro	30000	90	99	10450	2750	66	116,1	105,6
24	Philips	Cosmopolis	Claro	30000	140	154	16500	2860	66	117,9	107,1
25	Philips	CityWhite	Claro	18000	70	80	6300	2800	83	90,0	78,8
26	Philips	CityWhite	Claro	20000	100	110	8800	2800	83	88,0	80,0
27	Philips	CityWhite	Claro	20000	150	165	13500	2800	85	90,0	81,8
			Mínimo	12000	60	66	6300	2720	66	88,0	78,8
			Máximo	30000	150	167	16500	3000	90	117,9	107,1

Tabla A1. Características generales de las tecnologías de iluminación para AP (continuación)

#	Marca	Modelo	Bulbo	Vida nominal [Horas]	Potencia lámpara [W]	Potencia conjunto [W]	Flujo luminoso inicial [lm]	TCC [K]	IRC	Eficacia lámpara [lm/W]	Eficacia conjunto [lm/W]	
HID Vapor de sodio de alta presión convencional												
28	GE	Lucalox	Claro	24000	70	97	6400	1900	22	91,4	66,0	
29	GE	Lucalox	Claro	24000	100	137	9500	2000	22	95,0	69,3	
30	GE	Lucalox	Claro	24000	150	186	14400	2000	22	96,0	77,4	
31	GE	Lucalox	Claro	24000	250	300	28000	2100	22	112,0	93,3	
32	Osram	Vialox Nav E	Claro	24000	70	89	6300	1900	22	90,0	70,8	
33	Osram	Vialox Nav E	Claro	24000	100	124	9500	2100	22	95,0	76,6	
34	Osram	Vialox Nav E	Claro	24000	150	173	16000	2100	22	106,7	92,5	
35	Osram	Vaialox Nav TR	Claro	24000	250	288	28500	2100	22	114,0	99,0	
36	Philips	Ceramalux	Claro	30000	70	87	6500	2150	14	92,9	74,7	
37	Philips	Ceramalux	Claro	30000	100	124	9500	2100	18	95,0	76,6	
38	Philips	Ceramalux	Claro	30000	150	170	15800	2100	17	105,3	92,9	
39	Philips	Ceramalux	Claro	30000	250	284	27000	2100	25	108,0	95,1	
40	SLI	Sodio alta presión	Claro	24000	70	93	6000	2000	22	85,7	64,5	
41	SLI	Sodio alta presión	Claro	24000	100	116	8500	2000	22	85,0	73,3	
42	SLI	Sodio alta presión	Claro	24000	150	170	15000	2000	22	100,0	88,2	
43	SLI	Sodio alta presión	Claro	24000	250	274	26000	2000	22	104,0	94,9	
				Mínimo	24000	70	87	6000	1900	14	85,0	64,5
				Máximo	30000	250	300	28500	2150	25	114,0	99,0

HID Vapor de sodio de alta presión optimizado												
44	Osram	Nav-T Super 4Y	Claro	32000	70	77	6600	2000	<=25	94,3	85,7	
45	Osram	Nav-T Super 4Y	Claro	32000	100	108	10700	2000	<=25	107,0	99,1	
46	Osram	Nav-T Super 4Y	Claro	32000	150	160	17500	2000	<=25	116,7	109,4	
47	Osram	Nav-T Super 4Y	Claro	32000	250	260	33200	2000	<=25	132,8	127,7	
48	Philips	PIA	Claro	30000	70	80	6600	2000	25	94,3	82,5	
49	Philips	PIA	Claro	36000	100	114	10700	2000	25	107,0	93,9	
50	Philips	PIA	Claro	36000	150	167	17500	2000	25	116,7	104,8	
				Mínimo	30000	70	77	6600	2000	25	94,3	82,5
				Máximo	36000	250	260	33200	2000	25	132,8	127,7

Anexo A. Características generales de las fuentes de luz por tecnología

Tabla A1. Características generales de las tecnologías de iluminación para AP (continuación)

#	Marca	Modelo	Bulbo	Vida nominal [Horas]	Potencia lámpara [W]	Potencia conjunto [W]	Flujo luminoso inicial [lm]	TCC [K]	IRC	Eficacia lámpara [lm/W]	Eficacia conjunto [lm/W]
Inducción inductor Interno											
51	Amko-Solara	VL Series	n.a.	> 60000	165	173	12375	5000	>=80	75,0	71,5
52	Amko-Solara	VL Series	n.a.	> 60000	200	210	15000	5000	>=80	75,0	71,4
53	Kumho	Ecoenergy	n.a.	100000	70	73	4900	5000	80	70,0	67,1
54	Kumho	Ecoenergy	n.a.	100000	100	104	7500	5000	80	75,0	72,1
55	Kumho	Ecoenergy	n.a.	100000	150	155	10500	5000	80	70,0	67,7
56	Kumho	Ecoenergy	n.a.	100000	200	208	14000	5000	80	70,0	67,3
57	Philips	QL	n.a.	100000	55	58	3650	4000	80	66,4	62,9
58	Philips	QL	n.a.	100000	85	90	6300	4000	80	74,1	70,0
59	Philips	QL	n.a.	100000	165	170	12000	4000	80	72,7	70,6
			Mínimo	> 60000	55	58	3650	4000	80	66,4	62,9
			Máximo	100000	200	210	15000	5000	>=80	75,0	72,1
Inducción inductor externo											
60	Amko-Solara	Round Tubular	n.a.	> 60000	40	42	2800	5000	>=80	70,0	66,7
61	Amko-Solara	Round Tubular	n.a.	> 60000	80	84	6000	5000	>=80	75,0	71,4
62	Amko-Solara	Round Tubular	n.a.	> 60000	120	126	9600	5000	>=80	80,0	76,2
63	Amko-Solara	Round Tubular	n.a.	> 60000	150	158	12000	5000	>=80	80,0	75,9
64	Amko-Solara	Round Tubular	n.a.	> 60000	200	210	17000	5000	>=80	85,0	81,0
65	Amko-Solara	Square Tubular	n.a.	> 60000	70	74	5250	5000	>=80	75,0	70,9
66	Amko-Solara	Square Tubular	n.a.	> 60000	100	105	8000	5000	>=80	80,0	76,2
67	Amko-Solara	Square Tubular	n.a.	> 60000	120	126	9600	5000	>=80	80,0	76,2
68	Amko-Solara	Square Tubular	n.a.	> 60000	150	158	12000	5000	>=80	80,0	75,9
69	Amko-Solara	Square Tubular	n.a.	> 60000	200	210	17000	5000	>=80	85,0	81,0
70	Everlast	Wellworth Cobra	n.a.	100000	55	61	4650	5000	85	84,5	76,2
71	Everlast	Wellworth Cobra	n.a.	100000	70	78	5900	5000	85	84,3	75,6
72	Everlast	Wellworth Cobra	n.a.	100000	100	111	8400	5000	85	84,0	75,7
73	Everlast	Wellworth Cobra	n.a.	100000	120	134	10100	5000	85	84,2	75,4
74	Everlast	Wellworth Cobra	n.a.	100000	150	165	12600	5000	85	84,0	76,4
75	Osram	Endura	n.a.	60000	70	72	6500	2700	>=80	92,9	90,3
76	Osram	Endura	n.a.	60000	100	100	8000	2700	>=80	80,0	80,0
77	Osram	Endura	n.a.	60000	150	150	12000	2700	>=80	80,0	80,0
78	Osram	Endura	n.a.	60000	70	72	6500	4100	>=80	92,9	90,3
79	Osram	Endura	n.a.	60000	100	100	8000	4100	>=80	80,0	80,0
80	Osram	Endura	n.a.	60000	150	150	12000	4100	>=80	80,0	80,0
81	US Lighting Tech	Jersey Street	n.a.	100000	40	45	3400	5000	85	85,0	75,6
82	US Lighting Tech	Jersey Street	n.a.	100000	80	87	6800	5000	85	85,0	78,2
83	US Lighting Tech	Jersey Street	n.a.	100000	100	110	8500	5000	85	85,0	77,3
84	US Lighting Tech	Jersey Street	n.a.	100000	120	127	10200	5000	85	85,0	80,3
85	US Lighting Tech	Jersey Street	n.a.	100000	150	160	12750	5000	85	85,0	79,7
			Mínimo	60000	40	42	2800	2700	>=80	70,0	66,7
			Máximo	100000	200	210	17000	5000	85	92,9	90,3

Tabla A1. Características generales de las tecnologías de iluminación para AP (continuación)

#	Marca	Modelo	Bulbo	Vida nominal [Horas]	Potencia lámpara [W]	Potencia conjunto [W]	Flujo luminoso inicial [lm]	TCC [K]	IRC	Eficacia lámpara [lm/W]	Eficacia conjunto [lm/W]
LEDs											
86	Elumen	Long Life	n.a.	100000	100	104	7543	5000	82	75,4	72,5
87	Elumen	Long Life	n.a.	100000	66	69	4978	5000	82	75,4	72,1
88	Elumen	Long Life	n.a.	100000	33	36	2489	5000	82	75,4	69,1
89	Elumen	Std Life	n.a.	60000	150	155	10540	5000	82	70,3	68,0
90	Elumen	Std Life	n.a.	60000	100	105	6430	5000	82	64,3	61,2
91	Elumen	Std Life	n.a.	60000	50	55	3215	5000	82	64,3	58,5
92	GE	Evolve	n.a.	50000	157	157	9600	6000	70	61,1	61,1
93	GE	Evolve	n.a.	50000	142	142	8700	6000	70	61,3	61,3
94	GE	Evolve	n.a.	50000	127	127	7800	6000	70	61,4	61,4
95	GE	Evolve	n.a.	50000	115	115	7000	6000	70	60,9	60,9
96	GE	Evolve	n.a.	50000	95	95	6000	6000	70	63,2	63,2
97	GE	Evolve	n.a.	50000	80	80	5100	6000	70	63,8	63,8
98	GE	Evolve	n.a.	50000	65	65	4100	6000	70	63,1	63,1
99	GE	Evolve	n.a.	50000	52	52	3100	6000	70	59,6	59,6
100	GE	Evolve	n.a.	50000	157	157	8600	4300	70	54,8	54,8
101	GE	Evolve	n.a.	50000	142	142	7800	4300	70	54,9	54,9
102	GE	Evolve	n.a.	50000	127	127	7000	4300	70	55,1	55,1
103	GE	Evolve	n.a.	50000	115	115	6300	4300	70	54,8	54,8
104	GE	Evolve	n.a.	50000	95	95	5400	4300	70	56,8	56,8
105	GE	Evolve	n.a.	50000	80	80	4600	4300	70	57,5	57,5
106	GE	Evolve	n.a.	50000	65	65	3700	4300	70	56,9	56,9
107	GE	Evolve	n.a.	50000	52	52	2800	4300	70	53,8	53,8
108	Lighting Science	P Roadway	n.a.	85000	50	50	4354	5000	70	87,1	87,1
109	Lighting Science	P Roadway	n.a.	85000	75	74	5890	5000	70	78,5	79,6
110	Lighting Science	P Roadway	n.a.	85000	100	101	9365	5000	70	93,7	92,7
111	Lighting Science	P Roadway	n.a.	85000	150	146	11716	5000	70	78,1	80,2
112	LED Roadway Lighting	SAT-24 S @ 280 mA	n.a.	100000	24	22	1800	5000	70	75,0	81,8
113	LED Roadway Lighting	SAT-48 S @ 280 mA	n.a.	100000	44	43	3450	5000	70	78,4	80,2
114	LED Roadway Lighting	SAT-72 M @ 280 mA	n.a.	100000	72	65	5100	5000	70	70,8	78,5
115	LED Roadway Lighting	SAT-96 M @ 280 mA	n.a.	100000	96	86	6850	5000	70	71,4	79,7
			Mínimo	50000	24	22	1800	4300	70	53,8	53,8
			Máximo	100000	157	157	11716	6000	82	93,7	92,7

Anexo B. Resultados de las simulaciones para evaluar el método de los nueve puntos

Tabla B1. Resultados de las simulaciones para evaluar la exactitud del método de los nueve puntos

#	Luminario	Método de medición	Iluminancia en los puntos de medición [lux]												Iluminancia [lux]		Número de puntos de medición	
			Ancho de calle: 9 m			Distancia interpostal: 30 m			Altura de montaje: 9 m			Número de carriles: 3			Mínima	Promedio		Max/Min
1	Luminario de inducción marca Everlast Lighting modelo Wellworth Tipo III Serie ECHUS-EC potencia 150 W	Método de la CIE	19,00	16,00	12,00	9,03	7,27	7,27	9,03	12,00	16,00	19,00	7,27	29,00	15,84	3,99	2,18	30
			27,00	22,00	16,00	11,00	8,52	8,52	11,00	16,00	22,00	27,00	8,52	29,00	15,84	3,99	2,18	
			29,00	24,00	17,00	11,00	8,78	8,78	11,00	17,00	24,00	29,00	8,78	29,00	15,84	3,99	2,18	
			17,00	14,00	11,00	8,45	7,00	7,00	8,45	11,00	14,00	17,00	7,00	29,00	15,84	3,99	2,18	
			21,00	18,00	13,00	9,68	7,57	7,57	9,68	13,00	18,00	21,00	7,57	29,00	15,84	3,99	2,18	
		Método de la IES	25,00	21,00	15,00	11,00	8,20	8,20	11,00	15,00	21,00	25,00	8,20	29,00	15,77	4,14	2,25	60
			28,00	23,00	17,00	11,00	8,77	8,77	11,00	17,00	23,00	28,00	8,77	29,00	15,77	4,14	2,25	
			29,00	24,00	18,00	11,00	8,88	8,88	11,00	18,00	24,00	29,00	8,88	29,00	15,77	4,14	2,25	
			28,00	23,00	17,00	11,00	8,60	8,60	11,00	17,00	23,00	28,00	8,60	29,00	15,77	4,14	2,25	
			15,00	9,53	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	28,00	15,16	4,39	2,38	
Método de los nueve puntos	27,00	16,00	16,00	16,00	8,08	8,08	16,00	16,00	16,00	16,00	8,08	28,00	15,16	4,39	2,38	9		
	28,00	16,00	16,00	16,00	7,92	7,92	16,00	16,00	16,00	16,00	7,92	28,00	15,16	4,39	2,38			
			Diferencia con respecto al método de la CIE															
			Diferencia con respecto al método de la IES															
2	Luminario de LEDs marca LED Roadway Lighting modelo SAT-96M @ 350 mA Tipo II potencia 110 W	Método de la CIE	24,00	16,00	20,00	19,00	17,00	17,00	19,00	20,00	16,00	24,00	17,00	32,00	20,13	2,67	1,68	30
			32,00	21,00	24,00	23,00	23,00	24,00	24,00	23,00	21,00	32,00	23,00	32,00	20,13	2,67	1,68	
			21,00	15,00	19,00	15,00	12,00	12,00	15,00	19,00	15,00	21,00	12,00	32,00	20,13	2,67	1,68	
			21,00	14,00	18,00	19,00	16,00	16,00	19,00	18,00	14,00	21,00	16,00	32,00	20,13	2,67	1,68	
			30,00	18,00	21,00	20,00	19,00	19,00	20,00	21,00	18,00	30,00	19,00	32,00	20,13	2,67	1,68	
		Método de la IES	35,00	19,00	22,00	23,00	23,00	23,00	23,00	22,00	19,00	35,00	23,00	32,00	20,48	4,24	2,48	60
			35,00	24,00	26,00	24,00	23,00	23,00	24,00	26,00	24,00	35,00	23,00	32,00	20,48	4,24	2,48	
			29,00	20,00	23,00	19,00	17,00	17,00	19,00	23,00	20,00	29,00	17,00	32,00	20,48	4,24	2,48	
			13,00	10,00	14,00	11,00	8,26	8,26	11,00	14,00	10,00	13,00	8,26	32,00	20,48	4,24	2,48	
			19,00	14,00	14,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	19,00	15,00	32,00	20,48	4,24	2,48	
Método de los nueve puntos	30,00	24,00	24,00	24,00	22,00	22,00	24,00	24,00	24,00	30,00	22,00	32,00	18,29	5,92	3,61	9		
	6,34	9,62	9,62	9,62	5,07	5,07	9,62	9,62	9,62	6,34	5,07	32,00	18,29	5,92	3,61			
			Diferencia con respecto al método de la CIE															
			Diferencia con respecto al método de la IES															
3	Luminario de VSAP marca American Electric modelo Roadway Series 315 Tipo III Cutoff potencia 150 W	Método de la CIE	19,00	16,00	13,00	12,00	13,00	13,00	12,00	13,00	16,00	19,00	13,00	33,00	16,28	4,35	2,15	30
			30,00	21,00	14,00	11,00	8,89	8,89	11,00	14,00	21,00	30,00	8,89	33,00	16,28	4,35	2,15	
			33,00	22,00	14,00	9,73	7,58	7,58	9,73	14,00	22,00	33,00	7,58	33,00	16,28	4,35	2,15	
			16,00	15,00	13,00	13,00	14,00	14,00	13,00	13,00	15,00	16,00	14,00	33,00	16,28	4,35	2,15	
			22,00	18,00	13,00	12,00	12,00	12,00	12,00	13,00	18,00	22,00	12,00	33,00	16,28	4,35	2,15	
		Método de la IES	27,00	20,00	14,00	11,00	9,38	9,38	11,00	14,00	20,00	27,00	9,38	33,00	16,25	4,48	2,20	60
			32,00	22,00	14,00	10,00	8,49	8,49	10,00	14,00	22,00	32,00	8,49	33,00	16,25	4,48	2,20	
			33,00	23,00	14,00	9,92	7,80	7,80	9,92	14,00	23,00	33,00	7,80	33,00	16,25	4,48	2,20	
			31,00	22,00	14,00	9,46	7,37	7,37	9,46	14,00	22,00	31,00	7,37	33,00	16,25	4,48	2,20	
			14,00	13,00	13,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	14,00	16,00	33,00	16,25	4,48	2,20	
Método de los nueve puntos	31,00	14,00	14,00	8,70	8,70	14,00	14,00	14,00	14,00	31,00	8,70	33,00	15,89	4,55	2,33	9		
	30,00	13,00	13,00	6,81	6,81	13,00	13,00	13,00	13,00	30,00	6,81	33,00	15,89	4,55	2,33			
			Diferencia con respecto al método de la CIE															
			Diferencia con respecto al método de la IES															

Anexo B. Resultados de las simulaciones para evaluar el método de los nueve puntos

Tabla B1. Resultados de las simulaciones para evaluar la exactitud del método de los nueve puntos (continuación)

#	Luminario	Método de medición	Iluminancia en los puntos de medición [lux]										Iluminancia [lux]		Uniformidad		Número de puntos de medición	
			Ancho de calle: 12 m	Distancia interpostal: 30 m	Altura de montaje: 11 m	Número de carriles: 4	Mínima	Máxima	Promedio	Max/Min	Prom/Min	Mínima	Máxima					
7	Luminario de inducción marca Everlast Lighting modelo Charlevoix Rectangular Cobra Smart Light Series Tipo II full cutoff potencia 150 W	Método de la CIE	8,50	8,03	6,44	6,07	5,72	5,72	6,07	6,44	8,03	8,50	5,72	20,00	11,54	3,50	2,02	30
			14,00	15,00	12,00	10,00	9,29	9,29	10,00	12,00	15,00	14,00						
			17,00	20,00	16,00	13,00	12,00	12,00	13,00	16,00	20,00	17,00						
			6,92	6,64	5,30	5,05	4,72	4,72	5,05	5,30	6,64	6,92						
			8,56	8,36	6,70	6,30	5,94	5,94	6,30	6,70	8,36	8,56						
			11,00	11,00	8,48	7,78	7,29	7,29	7,78	8,48	11,00	11,00						
			13,00	14,00	11,00	9,36	8,64	8,64	9,36	11,00	14,00	13,00						
			15,00	16,00	13,00	11,00	9,92	9,92	11,00	13,00	16,00	15,00						
			16,00	19,00	15,00	12,00	11,00	11,00	12,00	15,00	19,00	16,00						
			17,00	20,00	16,00	13,00	12,00	12,00	13,00	16,00	20,00	17,00						
8	Luminario de LEDs marca elumen modelo LED-SL 150WX (4.5 deg) potencia 150 W	Método de los nueve puntos	5,89	4,68	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	15,00	10,50	3,62	2,54	9	
			13,00	12,00	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33							
			15,00	15,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00							
			Diferencia con respecto al método de la CIE										-27,6%	-25,0%	-9,0%	3,6%	25,8%	n.a.
			Diferencia con respecto al método de la IES										-12,3%	-25,0%	-8,5%	-14,5%	4,4%	n.a.
			20,00	22,00	21,00	20,00	23,00	23,00	20,00	21,00	22,00	20,00	12,00	23,00	17,93	1,92	1,49	30
			17,00	20,00	19,00	18,00	21,00	21,00	18,00	19,00	20,00	17,00						
			12,00	13,00	14,00	15,00	14,00	14,00	15,00	14,00	13,00	12,00						
			19,00	19,00	18,00	17,00	21,00	21,00	18,00	18,00	19,00	19,00						
			20,00	22,00	21,00	20,00	24,00	24,00	21,00	22,00	22,00	20,00						
9	Luminario de VAM marca American Electric modelo Roadway Series 125 Tipo III Cutoff potencia 175 W	Método de la CIE	13,00	11,00	11,00	11,00	9,33	9,33	11,00	11,00	11,00	8,76	21,00	12,77	2,40	1,46	30	
			21,00	15,00	12,00	10,00	9,54	9,54	10,00	12,00	15,00							
			21,00	16,00	13,00	9,94	8,76	8,76	9,94	13,00	16,00							
			12,00	10,00	9,86	9,43	8,31	8,31	9,43	9,86	10,00							
			14,00	11,00	11,00	11,00	9,47	9,47	11,00	11,00	14,00							
			17,00	13,00	12,00	11,00	9,96	9,96	11,00	12,00	17,00							
			21,00	15,00	12,00	10,00	9,73	9,73	10,00	12,00	15,00							
			22,00	16,00	12,00	9,92	9,38	9,38	9,92	12,00	16,00							
			21,00	16,00	12,00	9,83	9,06	9,06	9,83	12,00	16,00							
			21,00	16,00	13,00	9,91	8,80	8,80	9,91	13,00	16,00							
Método de los nueve puntos	11,00	16,00	12,00	9,98	8,60	8,60	9,98	12,00	16,00	7,28	26,00	13,01	3,57	1,79	9			
	26,00	12,00	9,66	9,66	9,66	9,66	9,66	9,66	26,00									
	20,00	12,00	8,32	8,32	8,32	8,32	8,32	8,32	20,00									
	Diferencia con respecto al método de la CIE										-16,9%	23,8%	1,9%	49,0%	22,6%	n.a.		
	Diferencia con respecto al método de la IES										-12,4%	18,2%	2,2%	34,9%	16,7%	n.a.		

Tabla B2. Resumen de los resultados de las simulaciones para evaluar la exactitud del método de los nueve puntos

#	Luminario	Método de medición	Número de puntos de medición	Iluminancia [lux]			Uniformidad	
				Mínima	Máxima	Promedio	Max/Min	Prom/Min
CASO 1: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 9 m Número de carriles: 3								
1	Luminario de inducción marca Everlast Lighting modelo Wellworth Tipo III Serie ECHUS-EC potencia 150 W	Método de la CIE	30	7,27	29,00	15,84	3,99	2,18
		Método de la IES	60	7,00	29,00	15,77	4,14	2,25
		Método de los nueve puntos	9	6,38	28,00	15,16	4,39	2,38
		Diferencia con respecto al método de la CIE		-12,2%	-3,4%	-4,3%	10,0%	9,0%
		Diferencia con respecto al método de la IES		-8,9%	-3,4%	-3,9%	5,9%	5,4%
2	Luminario de LEDs marca LED Roadway Lighting modelo SAT-96M @ 350 mA Tipo II potencia 110 W	Método de la CIE	30	12,00	32,00	20,13	2,67	1,68
		Método de la IES	60	8,26	35,00	20,48	4,24	2,48
		Método de los nueve puntos	9	5,07	30,00	18,29	5,92	3,61
		Diferencia con respecto al método de la CIE		-57,8%	-6,3%	-9,2%	121,9%	115,0%
		Diferencia con respecto al método de la IES		-38,6%	-14,3%	-10,7%	39,6%	45,5%
3	Luminario de VSAP marca American Electric modelo Roadway Series 315 Tipo III Cutoff potencia 150 W	Método de la CIE	30	7,58	33,00	16,28	4,35	2,15
		Método de la IES	60	7,37	33,00	16,25	4,48	2,20
		Método de los nueve puntos	9	6,81	31,00	15,89	4,55	2,33
		Diferencia con respecto al método de la CIE		-10,2%	-6,1%	-2,4%	4,6%	8,6%
		Diferencia con respecto al método de la IES		-7,6%	-6,1%	-2,2%	1,7%	5,8%
CASO 2: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 11 m Número de carriles: 3								
4	Luminario de inducción marca Everlast Lighting modelo Wellworth Tipo III Serie ECHUS-EC potencia 150 W	Método de la CIE	42	9,65	39,00	19,82	4,04	2,05
		Método de la IES	60	9,17	39,00	19,57	4,25	2,13
		Método de los nueve puntos	9	8,40	40,00	18,35	4,76	2,18
		Diferencia con respecto al método de la CIE		-13,0%	2,6%	-7,4%	17,8%	6,4%
		Diferencia con respecto al método de la IES		-8,4%	2,6%	-6,2%	12,0%	2,4%
5	Luminario de LEDs marca LED Roadway Lighting modelo SAT-96M @ 350 mA Tipo II potencia 110 W	Método de la CIE	42	4,36	22,00	10,57	5,05	2,42
		Método de la IES	60	4,21	24,00	10,64	5,70	2,53
		Método de los nueve puntos	9	3,92	22,00	9,72	5,61	2,48
		Diferencia con respecto al método de la CIE		-10,1%	0,0%	-8,1%	11,2%	2,2%
		Diferencia con respecto al método de la IES		-6,9%	-8,3%	-8,6%	-1,6%	-1,9%
6	Luminario de VSAP marca American Electric modelo Roadway Series 315 Tipo III Cutoff potencia 150 W	Método de la CIE	42	7,71	32,00	18,69	4,15	2,42
		Método de la IES	60	7,04	33,00	18,55	4,69	2,64
		Método de los nueve puntos	9	6,10	31,00	17,19	5,08	2,82
		Diferencia con respecto al método de la CIE		-20,9%	-3,1%	-8,0%	22,4%	16,3%
		Diferencia con respecto al método de la IES		-13,4%	-6,1%	-7,3%	8,4%	7,0%
CASO 3: Ancho de calle: 12 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 11 m Número de carriles: 4								
7	Luminario de inducción marca Everlast Lighting modelo Wellworth Tipo III Serie ECHUS-EC potencia 150 W	Método de la CIE	30	5,68	20,00	11,48	3,52	2,02
		Método de la IES	80	4,70	20,00	11,41	4,26	2,43
		Método de los nueve puntos	9	4,14	15,00	10,50	3,62	2,54
		Diferencia con respecto al método de la CIE		-27,1%	-25,0%	-8,5%	2,9%	25,5%
		Diferencia con respecto al método de la IES		-11,9%	-25,0%	-8,0%	-14,9%	4,5%
8	Luminario de LEDs marca LED Roadway Lighting modelo SAT-96M @ 350 mA Tipo II potencia 110 W	Método de la CIE	30	12,00	23,00	17,80	1,92	1,48
		Método de la IES	80	9,71	25,00	17,64	2,57	1,82
		Método de los nueve puntos	9	7,63	21,00	15,35	2,75	2,01
		Diferencia con respecto al método de la CIE		-36,4%	-8,7%	-13,8%	43,6%	35,6%
		Diferencia con respecto al método de la IES		-21,4%	-16,0%	-13,0%	6,9%	10,7%
9	Luminario de VSAP marca American Electric modelo Roadway Series 315 Tipo III Cutoff potencia 150 W	Método de la CIE	30	8,70	21,00	12,52	2,41	1,44
		Método de la IES	80	8,13	22,00	12,53	2,71	1,54
		Método de los nueve puntos	9	7,13	26,00	12,99	3,65	1,82
		Diferencia con respecto al método de la CIE		-18,0%	23,8%	3,7%	51,1%	26,6%
		Diferencia con respecto al método de la IES		-12,3%	18,2%	3,7%	34,8%	18,2%

Anexo C. Relación S/P de diferentes fuentes luz

Tabla C1. Base de datos de relaciones S/P de diferentes fuentes de luz

#	Tecnología	TCC [K]	IRC [Adim]	Potencia [W]	Otras características	Relación S/P [Adim]	Referencia bibliográfica
1	Incandescente	s.d.	s.d.	s.d.	---	1,36	(1)
2		s.d.	s.d.	s.d.	---	1,41	(2)
3	Incandescente halógena	s.d.	s.d.	s.d.	---	1,43	(1)
4		s.d.	s.d.	s.d.	---	1,50	(2)
5	Inducción	4060	77	109,9	Luminario GE	1,54	(3)
6		5000	> 80	120	Luminario AITI	1,91	(5)
7	Fluorescente	s.d.	s.d.	s.d.	Blanco calido	1,00	(2)
8		3000	> 80	s.d.	Lámparas T5	1,30	(4)
9		s.d.	s.d.	s.d.	Blanco frio	1,46	(2)
10		s.d.	s.d.	s.d.	Blanco frio	1,48	(1)
11		3500	> 80	s.d.	Lámparas T5	1,50	(4)
12		4100	> 70	s.d.	---	1,54	(2)
13		4100	> 80	s.d.	---	1,62	(2)
14		4100	> 80	s.d.	Lámparas T5	1,70	(4)
15		5000	> 80	s.d.	Lámparas T5	1,90	(4)
16		5000	> 80	s.d.	---	1,96	(2)
17		5000	s.d.	s.d.	---	1,97	(1)
18		6500	> 70	s.d.	---	2,14	(2)
19	6500	s.d.	s.d.	---	2,19	(1)	
20	6500	> 80	s.d.	Lámparas T5	2,20	(4)	
21	s.d.	s.d.	s.d.	Luz de día	2,22	(2)	
22	7500	> 80	s.d.	---	2,47	(2)	
23	LEDs	4138	67	71,6	Luminario Philips Lumec	1,44	(3)
24		4178	67	67,3	Luminario Leotek Electronics	1,45	(3)
25		5000	70	100	Luminario Lighting Science Prolific Roadway	1,59	(5)
26		5000	70	s.d.	Luminario LED Roadway Lighting	1,68	(7)
27		4988	73	90,1	Luminario American Electric	1,75	(3)
28	5928	73	72,9	Luminario Beta Lighting	1,94	(3)	
29	Vapor de aditivos metálicos	3200	s.d.	s.d.	Lámpara VAM o VAMPS Bulbo claro o fosforado	1,46	(6)
30		s.d.	s.d.	400	Bulbo fosforado	1,49	(1)
31		s.d.	s.d.	s.d.	Lámpara VAM o VAMPS Bulbo claro o fosforado	1,49	(2)
32		s.d.	s.d.	175	Bulbo claro	1,51	(1)
33		3400	s.d.	s.d.	Lámpara VAM o VAMPS Bulbo claro o fosforado	1,52	(6)
34		3600	s.d.	s.d.	Lámpara VAM o VAMPS Bulbo claro o fosforado	1,55	(6)
35		s.d.	s.d.	400	Bulbo claro	1,57	(1)
36		3800	s.d.	s.d.	Lámpara VAM o VAMPS Bulbo claro o fosforado	1,60	(6)
37		4000	68	150	Lámpara VAM PS bulbo claro, luminario Mongose	1,63	(5)
38		4000	s.d.	s.d.	Lámpara VAM o VAMPS Bulbo claro o fosforado	1,65	(6)
39		4200	s.d.	s.d.	Lámpara VAM o VAMPS Bulbo claro o fosforado	1,68	(6)
40		4400	s.d.	s.d.	Lámpara VAM o VAMPS Bulbo claro o fosforado	1,74	(6)
41	Vapor de aditivos metálicos cerámicos	2860	66	140	Lámpara Philips CosmoWhite, luminario Milewide	1,20	(5)
42		2800	85	150	Lámpara Philips CityWhite, luminario Lumec	1,23	(5)
43		2860	66	140	Lámpara Philips CosmoWhite, luminario Koffer	1,26	(5)
44		3000	> 85	150	Lámpara Osram Powerball HCI TT, luminario Calima I	1,31	(5)
45		2860	66	140	Lámpara Philips CosmoWhite, luminario Lumiparr	1,32	(5)
46		3000	> 85	150	Lámpara Osram Powerball HCI TT, Luminario Simon	1,36	(5)
47		3000	> 85	150	Lámpara Osram Powerball HCI TT, luminario Calima II	1,36	(5)
48		s.d.	s.d.	s.d.	Bulbo claro	0,80	(2)
49	Vapor de mercurio	s.d.	s.d.	175	Bulbo fosforado	1,08	(1)
50		s.d.	s.d.	400	Bulbo claro	1,33	(1)
51	Vapor de sodio alta presión	s.d.	s.d.	50	---	0,62	(2)
52		s.d.	s.d.	250	Bulbo claro	0,63	(1)
53		2005	16	127,4	Luminario GE	0,63	(3)
54		s.d.	s.d.	400	Bulbo claro	0,66	(1)
55	s.d.	s.d.	400	Bulbo fosforado	0,66	(1)	
56	Vapor de sodio baja presión	s.d.	s.d.	s.d.	---	0,25	(1)
57		s.d.	s.d.	s.d.	---	0,23	(2)

Referencias bibliográficas:

- (1) Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies, 2009.
- (2) Berman, 2010.
- (3) National Lighting Product Information Program / Rensselaer Polytechnic Institute, 2011
- (4) General Electric, s.d.
- (5) Información de estudios de AP realizados por Genertek, S.A. de C.V.
- (6) Osram-Sylvania, 2005.
- (7) LED Roadway Lighting, 2008

Tabla C2. Relaciones S/P utilizadas en la propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004 con referencias (ver Tabla C1)

Tipo de lámpara	TCC	Intervalo de S/P	S/P media	Referencia límite inferior	Referencia límite superior
Aditivos metálicos con tubo de descarga de cuarzo	menor a 3500 K	$1,46 < S/P < 1,52$	1,49	# 29, referencia (6)	# 33, referencia (6)
	de 3500 K a 4000 K	$1,55 < S/P < 1,65$	1,60	# 34, referencia (6)	# 38, referencia (6)
	mayor a 4000 K	$1,68 < S/P < 1,74$	1,71	# 39, referencia (6)	# 40, referencia (6)
Aditivos metálicos con tubo de descarga cerámico	menor a 3000 K	$1,20 < S/P < 1,32$	1,26	# 41, referencia (5)	# 45, referencia (5)
	mayor a 3000 K	$1,31 < S/P < 1,36$	1,34	# 44, referencia (5)	# 47, referencia (5)
Inducción inductor interno e inductor externo	2700 K	$1,00 < S/P < 1,30$	1,15	# 7, referencia (2)	# 8, referencia (4)
	4000 y 4100 K	$1,54 < S/P < 1,70$	1,62	# 5, referencia (3)	# 14, referencia (4)
	5000 K	$1,91 < S/P < 1,97$	1,94	# 6, referencia (5)	# 17, referencia (1)
LEDs	de 3500 K a 4500 K	$1,44 < S/P < 1,74$	1,59	# 23, referencia (3)	# 40, referencia (6)
	de 4501 K a 5500 K	$1,59 < S/P < 1,97$	1,78	# 25, referencia (5)	# 17, referencia (1)
	mayor a 5500 K	$1,94 < S/P < 2,14$	2,04	# 28, referencia (3)	# 18, referencia (2)
Vapor de sodio alta presión	hasta 2200 K	$0,62 < S/P < 0,66$	0,64	# 51, referencia (2)	# 54, referencia (1)

Anexo D. Depreciación del flujo luminoso por tecnología

Tabla D1. Depreciación del flujo luminoso por tecnología

#	Marca	Modelo	Recubrimiento	Bulbo	Potencia [W]	Vida nominal [Horas]	Mantenimiento de lúmenes (Depreciación al 40% de la vida)	Depreciación a las 12,000 hrs
HID Aditivos metálicos convencionales								
1	SLI	Protected Metal Halide	s.d.	BT37	400	20 000	0,60 - 0,72	0,53 - 0,64
2	Venture	175 Probe Start	Claro	ED17	175	10 000	0,65	s.d.
3	Venture	Energy Master Pro Start	Claro	ED17	125	10 000	0,65	0,45
					Min	10 000	0,60	0,45
					Max	20 000	0,72	0,64
HID Aditivos metálicos de arranque por pulso								
4	GE	Pulse Arc	Claro y fosforado	elíptico	150	12 000	0,68	0,45
5	Sylvania	Metalarc Pulse Start	Claro y fosforado	E17	70 - 150	10 000	0,65 - 0,88	0,48 - 0,60
6	Venture	Pulse Start Horizontal MH	Claro	ED-28	250	12 000	0,70	0,78
7	Venture	Uniform Pulse Start	Claro	ED17	175	15 000	0,86	0,78
8	Venture	Uniform Pulse Start	Claro	ED17	100	15 000	0,65	0,50
9	Venture	Horizontal Pulse Start	Claro	ED28	250	15 000	0,80	0,70
10	Venture	Natural White Pulse start	Claro	EDX17	150	20 000	0,90	0,85
11	Venture	Uniform Pulse Start	Claro	ED17	175	15 000	0,75	0,62
					Min	10 000	0,65	0,45
					Max	20 000	0,90	0,85
HID Aditivos metálicos cerámicos								
12	GE	Constant color CMH	Claro	Tubular	250 - 400	20 000 - 24 000	0,76 - 0,80	0,75 - 0,78
13	GE	Constant color CMH	Claro	Tubular	70 - 150	15 000 - 20 000	0,72 - 0,79	0,68 - 0,75
14	Osram	Powerball HCI TT	Claro	Tubular	70 - 150	15 000	0,80 - 0,83	0,70 - 0,72
15	Philips	Master City White CDO TT	Claro	T-31	70	18 000	0,68	0,62
16	Philips	Master City White CDO TT	Claro	T-46	100	20 000	0,64	0,58
17	Philips	Master City White CDO TT	Claro	T-46	150	20 000	0,64	0,58
18	Philips	Master City White CDO TT	Claro	T-46	250	20 000	0,65	0,59
19	Philips	Master Color CDM TT	Claro	T-31	70	18 000	0,66	0,61
20	Philips	Master Color CDM TT	Claro	T-46	150	20 000	0,72	0,66
21	Philips	Master Cosmo White	Claro	T-19	45	18 000	0,82	0,80
22	Philips	Master Cosmo White	Claro	T-19	90	30 000	0,89	0,89
23	Philips	Master Cosmo White	Claro	T-19	140	30 000	0,89	0,89
					Min	15 000	0,64	0,58
					Max	30 000	0,89	0,89

Tabla D1. Depreciación del flujo luminoso por tecnología (continuación)

#	Marca	Modelo	Recubrimiento	Bulbo	Potencia [W]	Vida Nominal [Horas]	Mantenimiento de lúmenes (Depreciación al 40% de la vida)	Depreciación a las 12,000 hrs
HID Vapor de sodio de alta presión convencional								
24	Osram	Vialox Nav 4Y-E/T	Fosforado / Claro	Elíptico / Tubular	50 - 70	28 000	0,84	0,83
25	Osram	Vialox Nav 4Y-E/T	Fosforado / Claro	Elíptico / Tubular	150 - 400	32 000	0,92	0,93
26	Osram	Vialox Nav-E	Claro	Elíptico	50 - 100	18 000	0,88	0,84
27	Osram	Vialox Nav-E	Claro	Elíptico	150 - 400	24 000	0,93	0,93
28	Osram	Vialox Nav-T	Claro	Tubular	70 - 100	18 000	0,88	0,84
29	Osram	Vialox Nav-T	Claro	Tubular	150 - 400	24 000	0,93	0,93
30	Philips	Son - T	Claro	T-31	70	28 000	0,81	0,81
31	Philips	Son - T	Claro	T-46	100	30 000	0,85	0,88
32	Philips	Son - T	Claro	T-46	150	30 000	0,92	0,94
33	Philips	Son - T	Claro	T-46	250	30 000	0,92	0,94
					Min	18 000	0,81	0,81
					Max	32 000	0,92	0,94
HID Vapor de sodio de alta presión optimizado								
34	Osram	Vialox Nav Super 4Y-E/T	Fosforado / Claro	Elíptico / Tubular	50 - 100	28 000	0,85	0,83
35	Osram	Vialox Nav Super 4Y-E/T	Fosforado / Claro	Elíptico / Tubular	150 - 400	32 000	0,93	0,94
36	Philips	Master Son T Pia Plus	Claro	T-31	70	30 000	0,87	0,87
37	Philips	Master Son T Pia Plus	Claro	T-46	100	36 000	0,9	0,92
38	Philips	Master Son T Pia Plus	Claro	T-46	150	36 000	0,95	0,96
39	Philips	Master Son T Pia Plus	Claro	T-46	250	36 000	0,95	0,96
					Min	28 000	0,85	0,83
					Max	36 000	0,95	0,96
Inducción								
40	Kumho	Econergy Induction Lighting	Fosforado	Inductor interno	40 - 250	100 000	0,73	0,88
41	Sylvania	Icetron	Fosforado	Inductor externo	70 - 150	100 000	0,74	s.d.
					Min	100 000	0,74	0,88
					Max	100 000	0,75	0,88
Fluorescente lineal T5 y T8								
54	Osram	Lumilux T8	Fosforado	T8	10 - 58	20 000	0,93	0,92
55	GE	Starcoat T5 Ecolux	Fosforado	T5	14 - 80	30 000	0,93	0,93
56	Philips	Philips Silhouette T5	Fosforado	T5	14 - 35	20 000	0,96	0,95
					Min	20 000	0,93	0,92
					Max	30 000	0,96	0,95

Anexo D. Depreciación del flujo luminoso por tecnología

Tabla D1. Depreciación del flujo luminoso por tecnología (continuación)

#	Marca	Modelo	Recubrimiento	Bulbo	Potencia [W]	Vida Nominal [Horas]	Depreciación medida de acuerdo a IES LM-80-08	Depreciación proyectada de acuerdo a IES TM-21-11	
LEDs									
42	Philips	Luxeon Rebel > 4000 K 0,7 A				s.d.	0,9771 @ 6 000 h	s.d.	
43	Philips	Luxeon Rebel > 5000 K 0,35 A				s.d.	0,9859 @ 9 000 h	s.d.	
44	Philips	Luxeon Rebel > 5000 K 0,7 A				s.d.	0,9553 @ 9 000 h	s.d.	
45	Osram	Golden Dragon Plus, LUW WSAM 5000 K - 6500 K 0,35 A				s.d.	0,9430 @ 6 000 h	s.d.	
46	Osram	OSLON SSL, LUW CP7P 5000 K - 6500 K 0,7 A				s.d.	0,9388 @ 6 000 h	s.d.	
47	CREE	ARE-EDG, ARE-EDR, SEC-EDG, CAN-EDG, PKG-EDG @ 0,35 A				s.d.	s.d.	0,95 @ 25 000 h	
48	CREE	ARE-EDG, ARE-EDR, SEC-EDG, CAN-EDG, PKG-EDG @ 0,525 A				s.d.	s.d.	0,94 @ 25 000 h	
49	CREE	ARE-EDG, ARE-EDR, SEC-EDG, CAN-EDG, PKG-EDG @ 0,7 A				s.d.	s.d.	0,93 @ 25 000 h	
50	CREE	STR-LWY, STR-SLM, STR- SLM66, ARE-SLM66 @ 0,35 A				s.d.	s.d.	0,96 @ 25 000 h	
51	CREE	STR-LWY, STR-SLM, STR- SLM66, ARE-SLM66 @ 0,525 A				s.d.	s.d.	0,95 @ 25 000 h	
52	CREE	STR-LWY, STR-SLM, STR- SLM66, ARE-SLM66 @ 0,7 A				s.d.	s.d.	0,94 @ 25 000 h	
53	CREE	STR-LWY, STR-SLM, STR- SLM66, ARE-SLM66 @ 1 A				s.d.	s.d.	0,92 @ 25 000 h	
						Min	s.d.	s.d.	n.a.
						Max	s.d.	s.d.	n.a.

Anexo E. Potencia de entrada de balastos para lámparas de HID

Tabla E1. Potencia de entrada de balastos para lámparas de HID

#	Potencia de la lámpara [W]	Marca	Modelo	Tipo de balastro	Tensión de línea [V]	Corriente de línea [A]	Potencia de línea [W]	Potencia de línea máxima [W]	Potencia de línea mínima [W]	Potencia empleada [W]
Vapor de sodio de alta presión (convencional)										
1	70	ISB	971-S-SO70	Balastro electromagnético CWA alto FP	220	0,440	97	97	86,5	88
2		Philips Advance	71A79H8-500DMA	Balastro electromagnético CWA alto FP	127/220	1,600/0,890	95			
3		Philips Advance	71A9934-500DM	Balastro electromagnético Hx alto FP	127/220/240/277	0,810/0,440/0,400/0,350	91			
4		ISB	971-28-S-70	Balastro electromagnético CWA alto FP (Bajas pérdidas)	220	0,420	88,5			
5		Philips Advance	71A79J9-500DM	Balastro electromagnético CWA alto FP (Bajas pérdidas)	220/240	0,400/0,370	86,5			
6	100	ISB	971-S-SO100	Balastro electromagnético CWA alto FP	220	0,635	137	138	124	125
7		Philips Advance	71A80H8-500DMA	Balastro electromagnético CWA alto FP	127/220	1,070/0,620	138			
8		Philips Advance	71A9935-500DM	Balastro electromagnético Hx alto FP	127/220/240/277	1,150/0,620/0,580/0,500	130			
9		ISB	971-25-S-100	Balastro electromagnético CWA alto FP (Bajas pérdidas)	220	0,590	124			
10		Philips Advance	71A80J9-500DM	Balastro electromagnético CWA alto FP (Bajas pérdidas)	220/240	0,580/0,530	124			
11	150	ISB	971-S-SO150	Balastro electromagnético CWA alto FP	220	0,900	186	190	169,7	172
12		Philips Advance	71A81H8-500DMA	Balastro electromagnético CWA alto FP	127/220	1,550/0,890	190			
13		Philips Advance	71A9936-500DM	Balastro electromagnético Hx alto FP	127/220/240/277	0,165/0,900/0,830/0,720	188			
14		ISB	971-15-S-150	Balastro electromagnético CWA alto FP (Bajas Pérdidas)	220	0,800	173			
15		Philips Advance	71A81J9-500DM	Balastro electromagnético CWA alto FP (Bajas Pérdidas)	220/240	0,750/0,680	170			
16		SLI Lighting	K526196.01	Balastro electromagnético	220	0,80	169,7			
17	250	ISB	971-S-SO250	Balastro electromagnético CWA alto FP	220	1 460	300	300	272	286
18		Philips Advance	71A82H1-500DMA	Balastro electromagnético CWA alto FP	127/220	2,500/1,500	295			
19		ISB	971-15-S-250	Balastro electromagnético CWA alto FP (Bajas Pérdidas)	220	1 400	288			
20		Philips Advance	71A82J9-500DM	Balastro electromagnético CWA alto FP (Bajas pérdidas)	220/240	1,350/1,250	284			
21		SLI Lighting	K160604.01	Balastro electromagnético	220	1 350	272			
Vapor de sodio de alta presión (optimizado)										
22	70	Philips Advance	HID-PV-70-SON Primavision	Balastro electrónico	220/240	0,350	80	n.a.	n.a.	80
23	100	Philips Advance	HID-PV-100-SON Primavision	Balastro electrónico	220/240	0,500	114	n.a.	n.a.	114
24	150	Philips Advance	HID-PV-150-SON Primavision	Balastro electrónico	220/240	0,750	167	n.a.	n.a.	167
Aditivos metálicos con tubo de descarga de cuarzo (convencional y de arranque por pulso)										
25	100	Philips Advance	71A53H0-500DM	Balastro electromagnético Hx alto FP	127/220	1,000/0,640	129	129	110	120
26		Philips Advance	IMH-100-DLF e-Vision	Balastro electrónico	120-277	0,920/0,400	110			
27	150	Philips Advance	IMH-150-HLF e-Vision	Balastro electrónico	120-277	1,400/0,600	165	s.d.	s.d.	175
28	175	ISB	871-S-117	Balastro electromagnético CWA alto FP	220	0,970	210	210	194	204
29		Philips Advance	71A55H0-500DM	Balastro electromagnético CWA alto FP	127/220	1,800/1,040	210			
30		Philips Advance	IMH-175-CLF e-Vision	Balastro electrónico	120-277	1,700/0,700	194			
31	250	ISB	871-S-251	Balastro electromagnético CWA alto FP	220	1 380	287	295	287	290
32		Philips Advance	71A55H0-500DM	Balastro electromagnético CWA alto FP	127/220	2,600/1,500	295			
Aditivos metálicos con tubo de descarga cerámico										
33	60	Philips Advance	Philips CosmoWhite HID-PV Xtreme gear 60W	Balastro electrónico	220-240	s.d.	66	n.a.	n.a.	66
34	90	Philips Advance	Philips CosmoWhite HID-PV Xtreme gear 90W	Balastro electrónico	220-240	s.d.	98,5	n.a.	n.a.	98,5
35	140	Philips Advance	Philips CosmoWhite HID-PV Xtreme gear 140W	Balastro electrónico	220-240	s.d.	154	n.a.	n.a.	154

Anexo F. Resultados de las simulaciones para evaluar la DPEA

Tabla F1. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R1

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]	TCC [K]	S/P	DFL 12 000 h	FPL = DFL x F _r (F _r = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial (Con los 9 puntos) [lx]		Iluminancia mesópica promedio inicial [lx]	Iluminancia fotópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx]	Diferencia [%]	Uniformidad		DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]	
										Mínima	Máxima					Prom/Min	Max/Min			
CASO 1: Ancho de calle: 7,5 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 7,5 m																				
1	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	0,65	0,875	0,788	2,31	18,00	7,59	5,98	5,42	-9,4%	3,3	7,8	0,39	0,0616
2	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	0,65	0,875	0,788	4,09	33,00	16,41	15,53	12,13	-6,1%	4,0	8,1	0,56	0,0970
3	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / NCO	100	125	2000	0,65	0,875	0,788	5,17	50,00	19,88	18,94	14,55	-7,1%	3,8	9,7	0,56	0,1164
4	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R3 / - / NCO	100	125	2000	0,65	0,875	0,788	3,82	28,00	14,82	11,67	10,68	-8,5%	3,9	7,3	0,56	0,0854
5	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P1)	70	80	2000	0,65	0,895	0,806	4,12	32,00	12,57	11,65	9,24	-8,7%	3,1	7,8	0,36	0,1155
6	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	70	80	2000	0,65	0,895	0,806	3,46	29,00	11,74	10,68	8,76	-7,4%	3,4	8,4	0,36	0,1095
7	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P1)	100	114	2000	0,65	0,895	0,806	6,89	50,00	20,03	18,94	15,04	-6,8%	2,9	7,3	0,51	0,1319
8	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	100	114	2000	0,65	0,895	0,806	6,63	49,00	19,71	18,46	15,04	-5,3%	3,0	7,4	0,51	0,1319
9	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	1,60	0,545	0,491	4,30	38,00	15,03	16,47	8,52	15,6%	3,5	8,4	0,53	0,0710
10	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	1,60	0,65	0,585	6,11	33,00	13,86	15,42	9,06	11,8%	2,3	5,4	0,53	0,0755
11	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / M / CO	100	120	4000	1,60	0,65	0,585	6,76	38,00	14,48	15,94	9,59	13,2%	2,1	5,6	0,53	0,0799
12	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / (P5X)	60	66	2800	1,25	0,735	0,662	3,45	27,00	12,24	12,57	8,45	4,4%	3,5	7,8	0,29	0,1280
13	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / (P10)	60	66	2800	1,25	0,735	0,662	3,91	26,00	12,80	13,59	8,97	5,9%	3,3	6,6	0,29	0,1359
14	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / (P7)	90	98,5	2750	1,25	0,735	0,662	6,63	41,00	19,34	20,21	12,80	6,2%	2,9	6,2	0,44	0,1380
15	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / (P10)	90	98,5	2750	1,25	0,735	0,662	6,56	40,00	19,88	20,72	13,59	3,3%	3,0	6,1	0,44	0,1380
16	Inducción	Everfast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	40	44	5000	1,95	0,900	0,810	1,50	13,00	4,98	6,24	5,08	25,9%	3,3	8,7	0,20	0,1155
17	Inducción	Everfast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	1,95	0,900	0,810	2,66	15,00	6,80	8,51	6,81	23,6%	2,6	5,6	0,27	0,1116
18	Inducción	Everfast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	70	78	5000	1,95	0,900	0,810	2,64	24,00	8,84	10,74	8,51	18,8%	3,3	9,1	0,35	0,1091
19	Inducción	Everfast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	1,95	0,900	0,810	4,26	24,00	10,87	12,94	10,74	22,0%	2,6	5,6	0,40	0,1193
20	Inducción	Everfast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	1,95	0,900	0,810	5,01	29,00	12,90	15,11	10,45	12,3%	2,6	5,8	0,49	0,1116
21	LEDs	elumen	LED-SL33W	- / - / (4,5°)	n.a.	36	5000	1,80	0,920	0,828	0,86	5,25	4,35	5,49	6,62	26,3%	6,1	10,3	0,16	0,1525
22	LEDs	elumen	LED-SL50WX	- / - / (4,5°)	n.a.	55	5000	1,80	0,920	0,828	1,11	11,00	6,75	8,29	6,62	18,4%	6,1	9,9	0,24	0,1204
23	LEDs	elumen	LED-SL66W	- / - / (4,5°)	n.a.	69	5000	1,80	0,920	0,828	1,70	18,00	10,57	12,11	10,48	19,7%	6,2	10,6	0,31	0,1519
24	LEDs	elumen	LED-SL100W	- / - / (4,5°)	n.a.	104	5000	1,80	0,920	0,828	2,53	27,00	15,84	17,99	14,80	12,9%	6,3	10,7	0,46	0,1423
25	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	52	6000	2,05	0,920	0,828	2,60	24,00	8,07	9,79	8,09	21,1%	3,1	9,2	0,23	0,1556
26	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	65	6000	2,05	0,920	0,828	3,99	28,00	10,02	12,02	10,35	24,8%	2,5	7,0	0,29	0,1592
27	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	80	6000	2,05	0,920	0,828	4,36	40,00	13,19	15,32	13,13	20,2%	3,0	9,2	0,36	0,1641
28	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	95	6000	2,05	0,920	0,828	5,46	42,00	14,67	16,94	14,23	17,1%	2,7	7,7	0,42	0,1498
29	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-24S @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	22	5000	1,80	0,920	0,828	1,36	9,79	5,35	6,62	4,43	24,0%	3,9	7,2	0,10	0,2495
30	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-24S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	28	5000	1,80	0,920	0,828	1,63	13,00	6,67	7,73	6,62	19,9%	4,1	8,0	0,12	0,2364
31	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	1,80	0,920	0,828	2,97	20,00	10,54	12,11	9,94	13,9%	3,5	6,7	0,19	0,2312
32	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	1,80	0,920	0,828	2,57	21,00	11,10	12,65	10,48	14,0%	4,3	8,2	0,24	0,1905
33	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	1,80	0,920	0,828	3,65	27,00	14,68	16,40	13,73	12,9%	4,0	7,4	0,29	0,2112
34	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	1,80	0,920	0,828	5,12	36,00	19,68	21,67	18,52	13,7%	3,8	7,0	0,38	0,2153
CASO 2: Ancho de calle: 7,5 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 10 m																				
35	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	0,65	0,875	0,788	1,34	10,00	4,39	4,01	3,45	-10,8%	3,3	7,5	0,29	0,0350
36	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / NCO	100	125	2000	0,65	0,875	0,788	3,02	30,00	11,83	11,16	8,76	-6,0%	3,9	9,9	0,42	0,0701
37	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / CO	150	172	2000	0,65	0,875	0,788	5,06	48,00	19,07	17,97	14,07	-6,3%	3,8	9,5	0,57	0,0818
38	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	70	80	2000	0,65	0,895	0,806	2,01	15,00	6,96	6,37	5,60	-11,7%	3,5	7,5	0,27	0,0619
39	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	100	114	2000	0,65	0,895	0,806	3,66	27,00	11,67	10,68	9,40	-6,8%	3,2	7,4	0,38	0,0768
40	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	1,60	0,545	0,491	2,49	20,00	8,47	9,59	4,70	13,1%	3,4	8,0	0,40	0,0392
41	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	1,60	0,65	0,585	2,83	19,00	7,06	7,98	4,70	13,8%	2,5	6,7	0,40	0,0392
42	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	1,60	0,65	0,585	4,11	29,00	14,52	15,94	9,59	12,9%	3,5	7,1	0,58	0,0548
43	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / (P11)	60	66	2800	1,25	0,735	0,662	3,77	16,00	8,24	8,45	5,87	7,7%	2,2	4,2	0,22	0,0889
44	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / (P11)	90	98,5	2750	1,25	0,735	0,662	6,06	24,00	12,53	13,08	8,97	8,3%	2,1	4,0	0,33	0,0911
45	Inducción	Everfast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	40	44	5000	1,95	0,900	0,810	0,93	7,70	3,13	3,90	3,30	30,1%	3,4	8,3	0,15	0,0750
46	Inducción	Everfast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	1,95	0,900	0,810	1,63	8,58	4,13	5,08	4,49	34,3%	2,5	5,3	0,20	0,0736
47	Inducción	Everfast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	70	78	5000	1,95	0,900	0,810	1,64	14,00	5,62	6,81	5,66	24,4%	3,4	8,5	0,26	0,0726
48	Inducción	Everfast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	1,95	0,900	0,810	2,61	14,00	6,61	7,95	6,81	27,2%	2,5	5,4	0,30	0,0757
49	Inducción	Everfast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	1,95	0,900	0,810	3,07	16,00	7,82	9,63	7,95	25,5%	2,5	5,2	0,37	0,0716
50	Inducción	Everfast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	1,95	0,900	0,810	3,44	18,00	8,69	10,19	8,51	20,9%	2,5	5,2	0,45	0,0635

Propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004

Tabla F1. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₁ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]		TCC [K]	S/P	DFL 12 000 h	FPL = DFL x F _e (F _e = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial (Con los 9 puntos) [lx]			Iluminancia mesópica promedio inicial [lx _{mes}]	Iluminancia fotópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx _{mes}]	Diferencia [%]	Uniformidad		DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]
					Lámp	Línea					Mínima	Máxima	Promedio					Prom/Min	Max/Min		
CASO 2: Ancho de calle: 7,5 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 10 m																					
51	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	1,95	0,900	0,810	4,30	23,00	10,97	12,94	8,89	10,74	20,9%	2,6	5,3	0,55	0,0651
52	LEDs	elumen	LED-SL 33W	- / - / - (4.5°)	n.a.	36	5000	1,80	0,920	0,828	0,51	4,64	3,05	3,77	2,52	3,19	26,5%	6,0	9,1	0,12	0,0886
53	LEDs	elumen	LED-SL 50WX	- / - / - (4.5°)	n.a.	55	5000	1,80	0,920	0,828	0,66	5,99	3,93	4,92	3,26	4,35	33,5%	6,0	9,1	0,18	0,0791
54	LEDs	elumen	LED-SL 66W	- / - / - (4.5°)	n.a.	69	5000	1,80	0,920	0,828	1,00	9,26	6,07	7,18	5,03	6,06	20,5%	6,1	9,3	0,23	0,0878
55	LEDs	elumen	LED-SL 100W	- / - / - (4.5°)	n.a.	104	5000	1,80	0,920	0,828	1,51	14,00	9,30	11,03	7,70	8,84	14,9%	6,2	9,3	0,35	0,0850
56	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	52	6000	2,05	0,920	0,828	1,50	13,00	4,89	6,36	4,05	5,18	28,0%	3,3	8,7	0,17	0,0996
57	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	65	6000	2,05	0,920	0,828	2,29	14,00	6,07	7,51	5,02	6,36	26,6%	2,7	6,1	0,22	0,0978
58	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	80	6000	2,05	0,920	0,828	2,40	21,00	7,74	9,22	6,41	8,09	26,3%	3,2	8,8	0,27	0,1011
59	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	2,05	0,920	0,828	3,16	22,00	8,85	10,91	7,33	9,22	25,8%	2,8	7,0	0,32	0,0971
60	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	115	6000	2,05	0,920	0,828	3,36	28,00	10,43	12,57	8,63	10,35	19,9%	3,1	8,3	0,38	0,0900
61	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-245 @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	22	5000	1,80	0,920	0,828	0,81	5,55	3,17	3,77	2,62	3,19	21,6%	3,9	6,9	0,07	0,1450
62	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-245 @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	28	5000	1,80	0,920	0,828	1,00	7,50	4,27	5,49	3,54	4,35	23,1%	4,3	7,5	0,09	0,1554
63	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	1,80	0,920	0,828	1,86	12,00	6,70	7,73	5,55	6,62	19,4%	3,6	6,5	0,14	0,1540
64	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	1,80	0,920	0,828	1,56	12,00	6,79	8,29	5,62	6,62	17,8%	4,4	7,7	0,18	0,1204
65	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	1,80	0,920	0,828	2,22	16,00	8,89	10,48	7,36	8,84	20,1%	4,0	7,2	0,22	0,1360
66	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	1,80	0,920	0,828	3,09	21,00	12,00	13,73	9,94	11,57	16,4%	3,9	6,8	0,29	0,1345
CASO 3: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 7,5 m																					
67	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	0,65	0,875	0,788	2,28	16,00	7,20	6,37	5,67	4,95	-12,7%	3,2	7,0	0,33	0,0563
68	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	0,65	0,875	0,788	3,67	31,00	15,46	14,55	12,17	11,16	-8,3%	4,2	8,4	0,46	0,0893
69	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / NCO	100	125	2000	0,65	0,875	0,788	4,81	48,00	18,91	17,97	14,89	14,07	-5,5%	3,9	10,0	0,46	0,1126
70	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R3 / - / NCO	100	125	2000	0,65	0,875	0,788	3,66	29,00	14,59	13,58	11,49	10,68	-7,0%	4,0	7,9	0,46	0,0854
71	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P1)	70	80	2000	0,65	0,895	0,806	3,76	31,00	11,58	10,68	9,32	8,76	-6,1%	3,1	8,2	0,30	0,1095
72	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P3)	70	80	2000	0,65	0,895	0,806	3,27	29,00	11,06	10,19	8,91	8,28	-7,1%	3,4	8,9	0,30	0,1035
73	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P3)	100	114	2000	0,65	0,895	0,806	6,13	49,00	18,59	17,48	14,98	14,07	-6,0%	3,0	8,0	0,42	0,1234
74	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P4)	100	114	2000	0,65	0,895	0,806	5,86	48,00	18,16	16,99	14,63	13,58	-7,2%	3,1	8,2	0,42	0,1191
75	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / FCO	100	120	4000	1,60	0,545	0,491	4,11	37,00	14,42	15,94	7,07	7,98	12,8%	3,5	9,0	0,44	0,0665
76	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	1,60	0,650	0,585	5,18	30,00	13,02	14,37	7,62	8,52	11,9%	2,5	5,8	0,44	0,0710
77	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / M / CO	100	120	4000	1,60	0,650	0,585	6,14	35,00	13,26	14,89	7,76	9,06	16,8%	2,2	5,7	0,44	0,0755
78	VAM PS	GE	M-250R2	R3 / M / CO	100	120	4000	1,60	0,650	0,585	5,27	33,00	13,07	14,37	7,64	8,52	11,5%	2,5	6,3	0,44	0,0710
79	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P7)	60	66	2800	1,25	0,735	0,662	3,55	26,00	11,69	12,05	7,73	7,94	2,7%	3,3	7,3	0,24	0,1203
80	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P10)	60	66	2800	1,25	0,735	0,662	2,56	25,00	11,67	12,05	7,72	7,94	2,9%	4,6	9,8	0,24	0,1203
81	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P7)	90	98,5	2750	1,25	0,735	0,662	5,92	40,00	17,90	18,69	11,84	12,57	6,1%	3,0	6,8	0,36	0,1276
82	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P10)	90	98,5	2750	1,25	0,735	0,662	4,30	38,00	18,13	18,69	11,99	12,57	4,8%	4,2	8,8	0,36	0,1276
83	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P11)	90	98,5	2750	1,25	0,735	0,662	3,90	36,00	17,99	18,69	11,90	12,57	5,6%	4,6	9,2	0,36	0,1276
84	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	70	78	5000	1,95	0,900	0,810	1,72	14,00	6,98	8,51	5,66	6,81	20,4%	4,1	8,1	0,29	0,0873
85	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	80	90	5000	1,95	0,900	0,810	2,09	17,00	8,37	10,19	6,78	8,51	25,5%	4,0	8,1	0,33	0,0946
86	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	100	111	5000	1,95	0,900	0,810	2,45	20,00	9,92	11,84	8,03	9,63	19,9%	4,0	8,2	0,41	0,0868
87	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	40	44	5000	1,95	0,900	0,810	1,40	13,00	4,69	5,66	3,79	5,08	33,9%	3,3	9,3	0,16	0,1155
88	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	1,95	0,900	0,810	2,44	14,00	6,46	7,95	5,23	6,24	19,2%	2,6	5,7	0,23	0,1023
89	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	70	78	5000	1,95	0,900	0,810	2,47	23,00	8,35	10,19	6,77	8,51	25,8%	3,4	9,3	0,29	0,1091
90	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	1,95	0,900	0,810	3,92	23,00	10,31	12,39	8,35	10,19	22,0%	2,6	5,9	0,33	0,1132
91	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	1,95	0,900	0,810	4,61	27,00	12,23	14,03	9,91	11,84	19,5%	2,7	5,9	0,41	0,1067
92	LEDs	elumen	LED-SL 33W	- / - / - (4.5°)	n.a.	36	5000	1,80	0,920	0,828	0,78	7,78	4,88	6,06	4,04	4,92	21,8%	6,3	10,0	0,13	0,1367
93	LEDs	elumen	LED-SL 50WX	- / - / - (4.5°)	n.a.	55	5000	1,80	0,920	0,828	1,00	10,00	6,30	7,73	5,22	6,06	16,2%	6,3	10,0	0,20	0,1102
94	LEDs	elumen	LED-SL 66W	- / - / - (4.5°)	n.a.	69	5000	1,80	0,920	0,828	1,53	16,00	9,76	11,57	8,08	9,39	16,1%	6,4	10,5	0,26	0,1361
95	LEDs	elumen	LED-SL 100W	- / - / - (4.5°)	n.a.	104	5000	1,80	0,920	0,828	2,29	24,00	14,65	16,40	12,13	13,73	13,2%	6,4	10,5	0,39	0,1320
96	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	52	6000	2,05	0,920	0,828	2,43	23,00	7,21	8,66	5,97	7,51	25,8%	3,0	9,5	0,19	0,1444
97	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	65	6000	2,05	0,920	0,828	3,79	27,00	9,05	10,91	7,49	9,22	23,1%	2,4	7,1	0,24	0,1418
98	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	80	6000	2,05	0,920	0,828	4,10	39,00	11,88	14,23	9,84	12,02	22,2%	2,9	9,5	0,30	0,1503
99	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	2,05	0,920	0,828	5,13	44,00	13,93	16,40	11,53	13,68	18,6%	2,7	8,6	0,35	0,1440
100	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-245 @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	22	5000	1,80	0,920	0,828	0,98	8,83	3,68	4,35	3,05	3,77	23,7%	3,8	9,0	0,08	0,1714

Anexo F. Resultados de las simulaciones para evaluar la DPEA

Tabla F1. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₁ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]		TCC [K]	S/P	DFL 12 000 h	FPL = DFL x F _c (F _c = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial (Con los 9 puntos) [lx]			Iluminancia mesópica promedio inicial [lx _{mes}]	Iluminancia fotópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx _{mes}]	Diferencia [%]	Uniformidad		DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]
					Lámp	Línea					Mínima	Máxima	Promedio					Prom/Min	Max/Min		
CASO 3: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 7,5 m																					
101	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-245 @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	28	5000	1.80	0.920	0.828	1.25	13.00	6.00	7.18	4.97	6.06	22.0%	4.8	10.4	0.10	0.2164
102	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	1.80	0.920	0.828	2.24	20.00	9.30	11.03	7.70	8.84	14.8%	4.2	8.9	0.16	0.2056
103	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	1.80	0.920	0.828	1.97	21.00	9.89	11.57	8.19	9.39	14.6%	5.0	10.7	0.20	0.1707
104	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	1.80	0.920	0.828	2.81	27.00	13.28	15.33	11.00	12.65	15.0%	4.7	9.6	0.24	0.1946
105	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	1.80	0.920	0.828	4.01	36.00	17.67	19.57	14.63	16.40	12.1%	4.4	9.0	0.32	0.1907
CASO 4: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 9 m																					
106	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	0.65	0.875	0.788	2.65	12.00	6.19	5.42	4.87	4.48	-8.0%	2.3	4.5	0.33	0.0509
107	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	0.65	0.875	0.788	4.94	25.00	13.15	12.13	10.36	9.71	-6.3%	2.7	5.1	0.46	0.0777
108	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R3 / M / FCO	100	125	2000	0.65	0.875	0.788	4.90	25.00	13.07	12.13	10.29	9.71	-5.6%	2.7	5.1	0.46	0.0777
109	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / NCO	100	125	2000	0.65	0.875	0.788	5.46	40.00	17.27	16.50	13.60	12.61	-7.3%	3.2	7.3	0.46	0.1009
110	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	172	2000	0.65	0.875	0.788	6.72	33.00	20.61	19.43	16.23	15.04	-7.3%	3.1	4.9	0.64	0.0874
111	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P1)	70	80	2000	0.65	0.895	0.806	4.12	23.00	10.60	9.71	8.54	7.80	-8.7%	2.6	5.6	0.30	0.0975
112	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P3)	70	80	2000	0.65	0.895	0.806	3.64	20.00	9.71	8.76	7.82	7.32	-6.4%	2.7	5.5	0.30	0.0915
113	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P1)	100	114	2000	0.65	0.895	0.806	6.40	39.00	17.35	16.50	13.97	13.10	-6.2%	2.7	6.1	0.42	0.1149
114	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P4)	100	114	2000	0.65	0.895	0.806	6.25	35.00	16.27	15.53	13.10	12.13	-7.4%	2.6	5.6	0.42	0.1064
115	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P4)	150	167	2000	0.65	0.895	0.806	11.00	49.00	26.06	24.84	20.99	19.93	-5.1%	2.4	4.5	0.62	0.1193
116	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	1.60	0.545	0.491	4.53	27.00	12.40	13.84	6.08	6.90	13.5%	2.7	6.0	0.44	0.0575
117	VAM	American Electric	DuraStar Series 20	R2 / M / CO	175	204	4000	1.60	0.545	0.491	6.47	27.00	15.35	16.99	7.53	8.52	13.2%	2.4	4.2	0.76	0.0418
118	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / CO	175	204	4000	1.60	0.545	0.491	9.17	36.00	16.51	18.04	8.10	9.06	11.9%	1.8	3.9	0.76	0.0444
119	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	175	204	4000	1.60	0.545	0.491	5.56	33.00	16.11	17.51	7.90	9.06	14.7%	2.9	5.9	0.76	0.0444
120	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	1.60	0.650	0.585	7.97	48.00	23.56	25.28	13.78	15.42	11.9%	3.0	6.0	0.65	0.0881
121	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R3 / S / CO	150	175	4000	1.60	0.650	0.585	5.56	33.00	16.11	17.51	9.42	10.66	13.1%	2.9	5.9	0.65	0.0609
122	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	1.60	0.650	0.585	5.61	22.00	11.61	12.79	6.79	7.98	17.5%	2.1	3.9	0.44	0.0665
123	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / M / CO	100	120	4000	1.60	0.650	0.585	5.52	26.00	11.80	13.32	6.90	7.98	15.6%	2.1	4.7	0.44	0.0665
124	VAM PS	GE	M-250R2	R3 / M / CO	100	120	4000	1.60	0.650	0.585	5.00	25.00	11.26	12.79	6.59	7.44	12.9%	2.3	5.0	0.44	0.0620
125	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P6)	60	66	2800	1.25	0.735	0.662	3.54	19.00	10.38	11.03	6.86	7.42	8.1%	2.9	5.4	0.24	0.1124
126	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P8)	60	66	2800	1.25	0.735	0.662	4.38	20.00	10.94	11.54	7.24	7.42	2.5%	2.5	4.6	0.24	0.1124
127	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P5X)	90	98.5	2750	1.25	0.735	0.662	5.14	28.00	15.72	16.14	10.40	11.03	6.0%	3.1	5.4	0.36	0.1120
128	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P7)	90	98.5	2750	1.25	0.735	0.662	5.98	30.00	16.55	17.16	10.95	11.54	5.4%	2.8	5.0	0.36	0.1172
129	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P7)	140	154	2860	1.25	0.735	0.662	9.44	47.00	25.97	26.79	17.67	17.67	2.9%	2.8	5.0	0.57	0.1147
130	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P10)	140	154	2860	1.25	0.735	0.662	8.90	47.00	26.99	27.80	17.86	18.69	4.7%	3.0	5.3	0.57	0.1214
131	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	80	90	5000	1.95	0.900	0.810	2.92	12.00	7.59	9.07	6.15	7.38	20.1%	2.6	4.1	0.33	0.0820
132	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	100	111	5000	1.95	0.900	0.810	3.42	14.00	8.75	10.19	7.08	8.51	20.1%	2.6	4.1	0.41	0.0767
133	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	120	134	5000	1.95	0.900	0.810	4.12	17.00	10.92	12.94	8.84	10.74	21.4%	2.7	4.1	0.50	0.0801
134	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	150	165	5000	1.95	0.900	0.810	5.16	21.00	13.50	15.65	10.94	12.94	18.3%	2.6	4.1	0.61	0.0784
135	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	1.95	0.900	0.810	2.36	11.00	5.72	6.81	4.64	5.66	22.1%	2.4	4.7	0.23	0.0928
136	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	1.95	0.900	0.810	3.78	17.00	9.13	10.74	7.40	9.07	22.6%	2.4	4.5	0.33	0.1008
137	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	1.95	0.900	0.810	4.45	20.00	10.74	12.39	8.70	10.19	17.1%	2.4	4.5	0.41	0.0918
138	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	1.95	0.900	0.810	4.98	22.00	12.19	14.03	9.87	11.84	19.9%	2.4	4.4	0.50	0.0884
139	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	1.95	0.900	0.810	6.23	28.00	15.11	17.27	12.24	14.03	14.6%	2.4	4.5	0.61	0.0850
140	LEDs	eumen	LED-SL 33W	- / - / - (4.5*)	n.a.	36	5000	1.80	0.920	0.828	1.21	6.27	4.34	5.49	3.59	4.35	21.2%	3.6	5.2	0.13	0.1208
141	LEDs	eumen	LED-SL 50WX	- / - / - (4.5*)	n.a.	55	5000	1.80	0.920	0.828	1.57	8.09	5.60	6.62	4.64	5.49	18.4%	3.6	5.2	0.20	0.0998
142	LEDs	eumen	LED-SL 66W	- / - / - (4.5*)	n.a.	69	5000	1.80	0.920	0.828	2.40	13.00	8.70	9.94	7.20	8.29	15.1%	3.6	5.4	0.26	0.1201
143	LEDs	eumen	LED-SL 100W	- / - / - (4.5*)	n.a.	104	5000	1.80	0.920	0.828	3.58	19.00	12.79	14.80	10.59	12.11	14.4%	3.6	5.3	0.39	0.1164
144	LEDs	eumen	LED-SL 100WX	- / - / - (4.5*)	n.a.	105	5000	1.80	0.920	0.828	3.09	16.00	11.09	12.65	9.19	10.48	14.1%	3.6	5.2	0.39	0.0998
145	LEDs	eumen	LED-SL 150WX	- / - / - (4.5*)	n.a.	155	5000	1.80	0.920	0.828	5.01	26.00	18.35	20.62	15.20	16.93	11.4%	3.7	5.2	0.57	0.1092
146	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	52	6000	2.05	0.920	0.828	2.46	18.00	6.55	8.09	5.43	6.94	27.9%	2.7	7.3	0.19	0.1335
147	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	65	6000	2.05	0.920	0.828	3.73	19.00	8.02	9.79	6.64	8.09	21.9%	2.1	5.1	0.24	0.1245
148	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	80	6000	2.05	0.920	0.828	4.12	27.00	10.40	12.57	8.61	10.35	20.2%	2.5	6.6	0.30	0.1294
149	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	2.05	0.920	0.828	4.92	29.00	11.88	14.23	9.83	12.02	22.2%	2.4	5.9	0.35	0.1265
150	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	115	6000	2.05	0.920	0.828	5.81	36.00	14.12	16.40	11.69	13.68	17.0%	2.4	6.2	0.43	0.1190

Tabla F1. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₁ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]	Lámp Linea	TCC [K]	S/P	DfL 12 000 h	FPL = DFL x F _g (F _g = 0,90)	Iluminancia	Iluminancia	Iluminancia	Iluminancia	Diferencia [%]	Uniformidad	DPEA [W/m ² a las 12 000 h	Luxes por unidad de carga [lx/m ² /V]	
											Iluminancia fotográfica inicial [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia fotópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica inicial [lx]					
151	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	127	6000	2.05	0.920	0.828	6.60	37.00	15.44	18.02	15.32	19.9%	2.3	0.47	0.1206
152	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-245 @ 350 ma	R2 / S / -	n.a.	28	5000	1.80	0.920	0.828	1.57	9.59	5.65	6.62	4.68	17.4%	3.6	6.1	0.1961
153	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-485 @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	43	5000	1.80	0.920	0.828	2.86	15.00	8.75	9.94	7.24	14.4%	3.7	5.2	0.1928
154	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-485 @ 350 ma	R2 / S / -	n.a.	55	5000	1.80	0.920	0.828	2.35	16.00	9.34	11.03	7.73	14.3%	4.0	6.8	0.1607
155	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-72M @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	65	5000	1.80	0.920	0.828	3.56	20.00	12.49	14.26	10.34	17.1%	3.5	5.6	0.1863
156	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-96M @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	86	5000	1.80	0.920	0.828	5.05	27.00	18.52	18.52	13.73	11.7%	3.3	5.4	0.1783
157	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-96M @ 350 ma	R2 / S / -	n.a.	110	5000	1.80	0.920	0.828	5.05	31.00	18.41	20.62	15.25	11.0%	3.6	6.1	0.1539
158	V5AP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / M / FCO	100	125	2000	0.65	0.875	0.788	3.12	11.00	7.06	6.37	4.95	-11.0%	2.3	0.35	0.0396
159	V5AP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	0.65	0.875	0.788	2.74	17.00	8.73	7.80	6.87	-7.3%	3.2	6.2	0.0510
160	V5AP	American Electric	Roadway Series 115	R3 / M / FCO	100	125	2000	0.65	0.875	0.788	2.71	17.00	8.64	7.80	6.87	-6.4%	6.3	7.3	0.0510
161	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / NCO	100	125	2000	0.65	0.875	0.788	3.16	25.00	10.63	9.71	8.37	-6.9%	3.4	7.9	0.0624
162	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R3 / - / NCO	100	125	2000	0.65	0.875	0.788	2.33	17.00	7.29	6.84	5.74	-13.7%	3.1	7.3	0.0396
163	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	150	172	2000	0.65	0.875	0.788	5.45	40.00	17.30	16.50	13.63	-7.5%	3.2	7.3	0.0733
164	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	172	2000	0.65	0.875	0.788	3.62	26.00	12.94	12.13	10.19	-9.3%	3.6	7.2	0.0537
165	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVF	R2 / - / CO	250	286	2000	0.65	0.875	0.788	16.00	48.00	25.44	24.34	20.03	-5.5%	1.6	3.0	0.0662
166	V5AP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P1)	70	140	2000	0.65	0.895	0.806	2.41	15.00	6.82	6.37	4.95	-9.8%	2.8	6.2	0.0619
167	V5AP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P1)	100	100	2000	0.65	0.895	0.806	5.08	26.00	11.25	10.19	9.06	-8.6%	2.2	5.1	0.0726
168	V5AP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P1)	150	167	2000	0.65	0.895	0.806	8.40	40.00	18.35	17.48	14.07	-4.8%	2.2	4.8	0.0843
169	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	100	4000	1.60	0.545	0.491	2.52	17.00	7.62	8.52	3.74	11.3%	6.7	0.33	0.0346
170	VAM	American Electric	Duraster Series 30	R2 / M / FCO	250	290	4000	1.60	0.545	0.491	5.89	23.00	14.39	15.94	7.06	13.1%	3.9	0.81	0.0275
171	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	175	204	4000	1.60	0.545	0.491	2.94	27.00	10.19	11.20	5.00	16.2%	3.5	9.2	0.0285
172	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	175	204	4000	1.60	0.545	0.491	4.42	24.00	13.78	15.42	6.76	18.1%	3.1	7.98	0.0391
173	VAM PS	Lumark		R2 / S / CO	150	175	4000	1.60	0.585	0.585	4.22	24.00	13.78	15.42	8.06	12.4%	3.1	5.4	0.0518
174	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / M / CO	100	120	4000	1.60	0.650	0.585	3.32	19.00	7.88	9.06	4.67	12.6%	2.4	5.7	0.0438
175	VAM PS	GE	M-250A2	R3 / M / CO	100	120	4000	1.60	0.650	0.585	2.84	18.00	7.45	8.52	4.36	20.7%	2.8	6.3	0.0438
176	VAM PS	GE	M-250A2	R2 / S / CO	250	250	4000	1.60	0.650	0.585	8.08	32.00	14.42	15.94	8.44	13.7%	1.8	4.0	0.0799
177	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P10)	60	66	2800	1.25	0.735	0.662	3.30	13.00	7.32	7.94	4.84	10.5%	2.2	3.9	0.0811
178	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P9)	90	98.5	2750	1.25	0.735	0.662	4.27	20.00	10.91	11.54	7.42	2.8%	2.6	4.7	0.0753
179	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P11)	90	98.5	2750	1.25	0.735	0.662	4.91	20.00	11.29	12.05	7.42	6.3%	2.3	4.1	0.0806
180	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P8)	140	154	2750	1.25	0.735	0.662	6.10	31.00	17.19	17.67	11.37	5.9%	2.8	5.1	0.0782
181	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P10)	140	154	2860	1.25	0.735	0.662	7.55	32.00	17.83	18.69	11.79	6.6%	2.4	4.2	0.0816
182	Inducción	Everast Lighting	Charvoix Cobra	R2 / - / FCO	100	100	5000	1.95	0.900	0.810	2.23	9.68	5.90	7.38	4.78	30.3%	2.6	4.3	0.0562
183	Inducción	Everast Lighting	Charvoix Cobra	R2 / - / FCO	120	134	5000	1.95	0.900	0.810	2.69	12.00	7.13	8.51	5.77	27.8%	2.6	4.5	0.0551
184	Inducción	Everast Lighting	Charvoix Cobra	R2 / - / FCO	150	165	5000	1.95	0.900	0.810	3.37	15.00	8.07	10.74	7.26	24.4%	2.7	4.5	0.0550
185	Inducción	Everast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	55	5000	1.95	0.900	0.810	1.49	7.06	3.71	4.49	3.01	29.8%	2.5	4.7	0.0639
186	Inducción	Everast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	1.95	0.900	0.810	2.29	11.00	6.05	7.38	4.90	27.3%	2.5	4.6	0.0693
187	Inducción	Everast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	1.95	0.900	0.810	2.81	13.00	6.98	8.51	5.66	20.4%	2.5	4.6	0.0614
188	Inducción	Everast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	1.95	0.900	0.810	3.15	15.00	7.90	9.63	6.40	24.3%	2.5	4.8	0.0593
189	Inducción	Everast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	1.95	0.900	0.810	3.94	18.00	9.76	11.84	7.91	21.8%	2.5	4.6	0.0584
190	LEDs	eLumen	LED-SL-50WX	- / - / - (4.5)	n.a.	69	5000	1.80	0.920	0.828	0.78	5.08	3.49	4.35	30.6%	3.77	4.5	0.0685	
191	LEDs	eLumen	LED-SL-66W	- / - / - (4.5)	n.a.	65	5000	1.80	0.920	0.828	1.20	7.87	5.37	6.62	23.5%	4.5	6.6	0.0796	
192	LEDs	eLumen	LED-SL-100W	- / - / - (4.5)	n.a.	104	5000	1.80	0.920	0.828	1.80	12.00	8.21	9.39	6.79	17.7%	4.6	6.7	0.0797
193	LEDs	eLumen	LED-SL-150WX	- / - / - (4.5)	n.a.	152	5000	2.05	0.920	0.828	2.52	17.00	11.32	13.19	9.37	11.0%	4.5	6.7	0.0712
194	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	55	6000	2.05	0.920	0.828	1.44	10.00	4.09	5.18	3.38	35.7%	2.8	6.9	0.0883
195	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	65	6000	2.05	0.920	0.828	2.20	11.00	5.06	6.36	4.19	22.0%	2.3	5.0	0.0797
196	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	80	6000	2.05	0.920	0.828	2.44	18.00	6.87	8.66	5.69	22.0%	2.8	7.4	0.0868
197	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	2.05	0.920	0.828	2.94	18.00	7.88	9.72	6.28	28.9%	2.6	6.1	0.0852
198	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	115	6000	2.05	0.920	0.828	3.40	23.00	9.12	10.91	7.55	22.1%	2.7	6.8	0.0802
199	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	127	6000	2.05	0.920	0.828	3.92	22.00	9.72	11.47	8.05	21.7%	2.5	5.6	0.0771
200	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-485 @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	43	5000	1.80	0.920	0.828	1.78	10.00	5.92	7.18	4.90	23.6%	3.3	5.6	0.1409

CASO 4: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 9 m

CASO 5: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 11 m

Anexo F. Resultados de las simulaciones para evaluar la DPEA

Tabla F1. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₁ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]		TCC [K]	S/P	DFL 12 000 h	FPL = DFL x F _e (F _e = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial (Con los 9 puntos) [lx]			Iluminancia mesópica promedio inicial [lx _{mes}]	Iluminancia fotópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx _{mes}]	Diferencia [%]	Uniformidad		DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]
					Lámp	Línea					Mínima	Máxima	Promedio					Prom/Min	Max/Min		
CASO 5: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 11 m																					
201	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	1.80	0.920	0.828	1.49	10.00	6.29	7.73	5.21	6.06	16.3%	4.2	6.7	0.15	0.1102
202	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	1.80	0.920	0.828	2.12	13.00	8.21	9.39	6.80	8.29	21.9%	3.9	6.1	0.18	0.1275
203	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	1.80	0.920	0.828	2.93	18.00	11.26	13.19	9.33	11.03	18.3%	3.8	6.1	0.24	0.1283
204	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	110	5000	1.80	0.920	0.828	3.16	20.00	12.36	14.26	10.23	11.57	13.1%	3.9	6.3	0.31	0.1052
205	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 450 mA	R2 / S / -	n.a.	143	5000	1.80	0.920	0.828	3.84	25.00	15.32	17.46	12.68	14.26	12.4%	4.0	6.5	0.40	0.0997
CASO 6: Ancho de calle: 10,5 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 9 m																					
206	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	0.65	0.875	0.788	2.65	12.00	5.94	5.42	4.68	4.01	-14.3%	2.2	4.5	0.28	0.0456
207	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	0.65	0.875	0.788	4.94	22.00	12.27	11.65	9.66	8.76	-9.3%	2.5	4.5	0.40	0.0701
208	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R3 / M / FCO	100	125	2000	0.65	0.875	0.788	4.89	21.00	12.04	11.16	9.48	8.76	-7.6%	2.5	4.3	0.40	0.0701
209	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	150	172	2000	0.65	0.875	0.788	6.80	30.00	15.24	14.07	12.00	11.16	-7.0%	2.2	4.4	0.55	0.0649
210	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R3 / - / NCO	100	125	2000	0.65	0.875	0.788	4.20	21.00	11.84	11.16	9.32	8.76	-6.0%	2.8	5.0	0.40	0.0701
211	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	150	172	2000	0.65	0.875	0.788	6.86	49.00	24.18	22.87	19.04	17.97	-5.6%	3.5	7.1	0.55	0.1045
212	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	172	2000	0.65	0.875	0.788	6.72	43.00	21.48	20.42	16.92	16.01	-5.4%	3.2	6.4	0.55	0.0931
213	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P4)	70	80	2000	0.65	0.895	0.806	3.49	19.00	9.07	8.28	7.30	6.84	-6.3%	2.6	5.4	0.25	0.0855
214	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P4)	100	114	2000	0.65	0.895	0.806	6.25	33.00	15.11	14.07	12.17	11.16	-8.3%	2.4	5.3	0.36	0.0979
215	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P4)	150	167	2000	0.65	0.895	0.806	11.00	48.00	24.31	23.36	19.58	18.46	-5.7%	2.2	4.4	0.53	0.1105
216	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	1.60	0.545	0.491	4.37	26.00	12.35	13.84	6.06	6.90	13.9%	2.8	5.9	0.38	0.0575
217	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / CO	175	204	4000	1.60	0.545	0.491	9.17	36.00	16.01	17.51	7.85	9.06	15.4%	1.7	3.9	0.65	0.0444
218	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	175	204	4000	1.60	0.545	0.491	9.97	42.00	22.06	23.74	10.82	12.26	13.3%	2.8	5.3	0.65	0.0601
219	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	175	204	4000	1.60	0.545	0.491	5.56	25.00	16.35	18.04	8.02	9.06	13.0%	2.9	4.5	0.65	0.0444
220	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	1.60	0.650	0.585	7.97	48.00	22.81	24.77	13.34	14.89	11.6%	2.9	6.0	0.56	0.0851
221	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R3 / S / CO	150	175	4000	1.60	0.650	0.585	5.56	45.00	20.63	20.63	11.03	12.26	11.2%	3.4	8.1	0.56	0.0701
222	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	1.60	0.650	0.585	5.61	22.00	10.98	12.26	6.42	7.44	15.9%	2.0	3.9	0.38	0.0620
223	VAM PS	GE	M-250R2	R3 / M / CO	100	120	4000	1.60	0.650	0.585	5.00	24.00	10.61	11.73	6.20	6.90	11.2%	2.1	4.8	0.38	0.0575
224	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P6)	60	66	2800	1.25	0.735	0.662	3.37	18.00	9.74	10.00	6.44	6.91	7.3%	2.9	5.3	0.21	0.1047
225	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P6)	90	98.5	2750	1.25	0.735	0.662	5.34	28.00	14.99	15.63	9.92	10.51	6.0%	2.8	5.2	0.31	0.1067
226	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P6)	140	154	2860	1.25	0.735	0.662	8.43	44.00	24.01	24.77	15.89	16.65	4.8%	2.8	5.2	0.49	0.1081
227	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	40	44	5000	1.95	0.900	0.810	1.25	9.32	3.82	5.08	3.09	3.90	26.2%	3.1	7.5	0.14	0.0886
228	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	1.95	0.900	0.810	2.12	11.00	5.38	6.81	4.35	5.66	30.0%	2.5	5.2	0.19	0.0928
229	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	1.95	0.900	0.810	3.40	17.00	8.64	10.19	7.00	8.51	21.6%	2.5	5.0	0.29	0.0946
230	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	1.95	0.900	0.810	4.00	20.00	10.17	11.84	8.24	9.63	16.9%	2.5	5.0	0.35	0.0868
231	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	1.95	0.900	0.810	4.48	22.00	11.34	13.48	9.18	10.74	16.9%	2.5	4.9	0.43	0.0801
232	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	1.95	0.900	0.810	5.60	28.00	14.12	16.19	11.44	13.48	17.9%	2.5	5.0	0.52	0.0817
233	LEDs	eLumen	LED-SL 33W	- / - / - (4.5°)	n.a.	36	5000	1.80	0.920	0.828	1.21	5.49	4.14	4.92	3.42	4.35	27.0%	3.4	4.5	0.11	0.1208
234	LEDs	eLumen	LED-SL 50WX	- / - / - (4.5°)	n.a.	55	5000	1.80	0.920	0.828	1.57	7.10	5.34	6.62	4.42	5.49	24.2%	3.4	4.5	0.17	0.0998
235	LEDs	eLumen	LED-SL 66W	- / - / - (4.5°)	n.a.	69	5000	1.80	0.920	0.828	2.40	11.00	8.30	9.94	6.87	8.29	20.6%	3.5	4.6	0.22	0.1201
236	LEDs	eLumen	LED-SL 100W	- / - / - (4.5°)	n.a.	104	5000	1.80	0.920	0.828	3.58	17.00	12.35	14.26	10.22	11.57	13.2%	3.4	4.7	0.33	0.1113
237	LEDs	eLumen	LED-SL 150WX	- / - / - (4.5°)	n.a.	155	5000	1.80	0.920	0.828	5.01	23.00	17.42	19.57	14.42	16.40	13.7%	3.5	4.6	0.49	0.1058
238	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	52	6000	2.05	0.920	0.828	2.46	16.00	6.05	7.51	5.01	6.36	26.9%	2.5	6.5	0.17	0.1223
239	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	65	6000	2.05	0.920	0.828	3.73	19.00	7.67	9.22	6.35	8.09	27.3%	2.1	5.1	0.21	0.1245
240	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	80	6000	2.05	0.920	0.828	4.12	27.00	10.10	12.02	8.36	10.35	23.8%	2.5	6.6	0.25	0.1294
241	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	2.05	0.920	0.828	4.92	31.00	11.71	13.68	9.70	11.47	18.3%	2.4	6.3	0.30	0.1207
242	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	115	6000	2.05	0.920	0.828	5.81	36.00	13.57	15.86	11.24	13.13	16.8%	2.3	6.2	0.37	0.1142
243	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	127	6000	2.05	0.920	0.828	6.60	38.00	15.01	17.49	12.43	14.77	18.8%	2.3	5.8	0.40	0.1163
244	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	1.80	0.920	0.828	2.86	15.00	8.09	9.39	6.70	7.73	15.5%	2.8	5.2	0.14	0.1798
245	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	1.80	0.920	0.828	2.35	15.00	8.26	9.94	6.84	8.29	21.2%	3.5	6.4	0.17	0.1507
246	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	1.80	0.920	0.828	3.56	19.00	11.03	12.65	9.13	10.48	14.8%	3.1	5.3	0.21	0.1612
247	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	1.80	0.920	0.828	5.00	26.00	14.74	16.40	12.20	13.73	12.5%	2.9	5.2	0.27	0.1597
248	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	110	5000	1.80	0.920	0.828	5.05	30.00	16.49	18.52	13.66	15.33	12.3%	3.3	5.9	0.35	0.1394

Tabla F1. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₁ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características	Potencia [W]	TCC [k]	S/P	DPL 12 000 h FPL = DFL x F _g	Iluminancia fotométrica inicial (Con los 9 puntos) [lx]	Iluminancia meséptica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia fotométrica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia meséptica promedio a las 12 000 h [lx]	Diferencia [%]	Uniformidad	DPA [W/m ²]	Lúmenes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} ·W]

CASO 7: Ancho de calle: 10,5 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 11 m																					
249	V5AP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	0.65	0.875	0.788	2.74	16.00	8.51	7.80	6.70	5.89	-12.9%	2.7	5.7	0.21	0.2927
250	V5AP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	0.65	0.875	0.788	2.74	16.00	8.51	7.80	6.70	5.89	-12.1%	3.1	5.8	0.30	0.471
251	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	286	2000	0.65	0.875	0.788	14.00	44.00	23.88	22.87	18.80	9.71	-6.9%	3.7	3.1	0.41	0.0565
252	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	286	2000	0.65	0.875	0.788	14.00	44.00	23.88	22.87	18.80	9.71	-4.9%	3.7	3.1	0.41	0.0628
253	V5AP Opt	Philips	AurRoad SRP222	- / - / (P4)	70	80	2000	0.65	0.895	0.806	1.96	12.00	5.75	5.42	4.63	-13.5%	2.9	6.1	0.19	0.0501	
254	V5AP Opt	Philips	AurRoad SRP222	- / - / (P4)	150	167	2000	0.65	0.895	0.806	6.52	36.00	16.54	15.53	13.32	-9.4%	2.8	2.8	0.40	0.0755	
255	V5AP Opt	Philips	AurRoad SRP222	- / - / (P4)	150	167	2000	0.65	0.895	0.806	6.52	36.00	16.54	15.53	13.32	-9.4%	2.8	2.8	0.40	0.0755	
256	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	1.60	0.545	0.491	2.52	18.00	7.74	8.52	3.79	23.9%	3.1	7.1	0.29	0.0392	
257	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	175	204	4000	1.60	0.545	0.491	4.42	32.00	14.17	15.42	8.43	14.8%	3.2	7.2	0.49	0.0391	
258	VAM	American Electric	Durastar Series 30	R2 / M / FCO	250	290	4000	1.60	0.545	0.491	7.18	39.00	17.19	18.55	8.43	13.8%	2.4	5.4	0.69	0.0331	
259	VAM PS	Lumark		R2 / S / CO	150	175	4000	1.60	0.650	0.585	4.42	32.00	14.17	15.42	8.29	15.7%	3.2	7.2	0.42	0.0548	
260	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	1.60	0.650	0.585	3.47	15.00	7.15	7.98	4.18	12.4%	2.1	4.3	0.29	0.0392	
261	VAM C	Philips	Kofler SGP100	- / - / (P9)	60	66	2800	1.25	0.735	0.662	2.46	13.00	6.85	7.42	4.53	6.7%	2.8	5.3	0.16	0.0732	
262	VAM C	Philips	Kofler SGP100	- / - / (P9)	90	98.5	2750	1.25	0.735	0.662	4.19	20.00	10.55	11.03	6.98	6.3%	2.5	4.8	0.23	0.0753	
263	VAM C	Philips	Kofler SGP100	- / - / (P9)	140	154	2860	1.25	0.735	0.662	6.52	31.00	16.37	17.16	10.83	6.6%	2.5	4.7	0.37	0.0749	
264	Inducción	Wellworth Cobra	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	1.95	0.900	0.810	1.43	7.07	3.54	4.49	2.86	36.1%	2.5	4.9	0.15	0.0639	
265	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	70	78	5000	1.95	0.900	0.810	1.47	11.00	4.54	5.66	3.68	22.0%	3.1	7.5	0.19	0.0576	
266	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	80	5000	1.95	0.900	0.810	2.29	11.00	5.68	6.81	4.60	23.0%	2.5	4.8	0.21	0.0629	
267	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	1.95	0.900	0.810	2.70	13.00	6.70	7.95	5.42	25.5%	2.5	4.8	0.26	0.0614	
268	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	1.95	0.900	0.810	3.02	15.00	7.46	9.07	6.04	22.2%	2.5	5.0	0.32	0.0551	
269	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	1.95	0.900	0.810	3.77	19.00	9.39	11.29	7.61	32.3%	2.5	6.9	0.30	0.0550	
270	LEDs	elumen	LED-SL 50WX	- / - / (4.5°)	n.a.	55	5000	1.80	0.920	0.828	0.78	3.44	4.35	2.85	3.77	32.3%	4.4	6.9	0.13	0.0685	
271	LEDs	elumen	LED-SL 66W	- / - / (9°)	n.a.	69	5000	1.80	0.920	0.828	1.84	6.68	5.09	6.06	4.21	16.9%	2.8	3.6	0.16	0.0713	
272	LEDs	elumen	LED-SL 100W	- / - / (9°)	n.a.	104	5000	1.80	0.920	0.828	2.79	10.00	7.69	8.84	4.35	17.1%	2.8	3.6	0.25	0.0743	
273	LEDs	elumen	LED-SL 150WX	- / - / (9°)	n.a.	155	5000	1.80	0.920	0.828	3.91	14.00	10.81	12.65	8.95	17.1%	2.8	3.6	0.37	0.0676	
274	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	52	6000	2.05	0.920	0.828	1.43	12.00	4.20	5.18	3.47	32.1%	2.9	8.4	0.12	0.0883	
275	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	65	6000	2.05	0.920	0.828	2.20	13.00	5.13	6.36	4.28	35.8%	2.3	5.9	0.15	0.0888	
276	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	80	6000	2.05	0.920	0.828	2.44	18.00	6.61	8.09	5.48	26.7%	2.7	7.4	0.19	0.0868	
277	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	95	6000	2.05	0.920	0.828	2.94	19.00	7.37	9.22	6.10	23.1%	2.5	6.5	0.23	0.0791	
278	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	115	6000	2.05	0.920	0.828	3.40	24.00	8.89	10.91	7.36	25.3%	2.6	7.1	0.27	0.0802	
279	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	127	6000	2.05	0.920	0.828	3.92	25.00	9.77	12.02	8.09	27.0%	2.5	6.4	0.30	0.0771	
280	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-245 @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	28	5000	1.80	0.920	0.828	0.95	6.25	3.49	4.25	2.89	30.4%	3.7	3.7	0.07	0.1346	
281	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	1.80	0.920	0.828	1.78	9.81	5.51	6.62	4.56	20.4%	3.1	3.1	0.10	0.1277	
282	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	1.80	0.920	0.828	1.45	10.00	5.79	7.18	4.80	26.3%	4.0	6.9	0.13	0.1102	
283	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	1.80	0.920	0.828	2.12	13.00	7.60	8.84	6.29	22.8%	3.6	6.1	0.15	0.1189	
284	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	1.80	0.920	0.828	2.93	17.00	10.29	12.11	8.52	16.7%	3.5	5.0	0.20	0.1156	
285	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	143	5000	1.80	0.920	0.828	3.08	20.00	11.50	13.19	9.52	15.8%	3.7	6.5	0.26	0.1003	
286	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 450 mA	R2 / S / -	n.a.	143	5000	1.80	0.920	0.828	3.74	24.00	13.64	15.33	11.30	16.8%	3.6	6.4	0.34	0.0922	
287	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 525 mA	R2 / S / -	n.a.	175	5000	1.80	0.920	0.828	4.99	33.00	19.31	21.67	15.99	12.5%	3.9	6.6	0.42	0.1028	
288	V5AP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	0.65	0.875	0.788	2.94	8.43	4.91	4.48	3.86	-8.4%	1.7	2.9	0.24	0.0402	
289	V5AP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / M / FCO	100	125	2000	0.65	0.875	0.788	4.63	12.00	8.91	8.28	7.02	-9.2%	1.9	2.6	0.35	0.0510	
290	V5AP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	150	172	2000	0.65	0.875	0.788	7.44	22.00	12.60	11.65	9.92	-6.9%	1.7	2.9	0.48	0.0537	
291	V5AP	American Electric	Roadway Series 325	R3 / M / FCO	250	286	2000	0.65	0.875	0.788	12.00	42.00	25.94	24.84	20.43	-4.9%	2.2	3.5	0.79	0.0679	
292	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	172	2000	0.65	0.875	0.788	7.64	29.00	16.83	16.01	13.26	-4.9%	2.2	3.8	0.48	0.0733	
293	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	250	286	2000	0.65	0.875	0.788	13.00	43.00	25.50	24.34	20.08	-5.7%	2.0	3.3	0.79	0.0662	
294	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	250	286	2000	0.65	0.875	0.788	14.00	46.00	30.63	29.28	24.12	-5.2%	2.2	3.3	0.79	0.0800	
295	V5AP Opt	Philips	AurRoad SRP222	- / - / (P4)	70	80	2000	0.65	0.895	0.806	3.15	13.00	7.34	6.84	5.91	-8.3%	2.3	4.1	0.22	0.0678	
296	V5AP Opt	Philips	AurRoad SRP222	- / - / (P4)	100	114	2000	0.65	0.895	0.806	5.89	24.00	12.37	11.65	9.97	-7.4%	2.1	4.1	0.32	0.0810	
297	V5AP Opt	Philips	AurRoad SRP222	- / - / (P3)	150	167	2000	0.65	0.895	0.806	9.20	37.00	20.33	19.43	16.37	-5.1%	2.2	4.0	0.46	0.0930	

Anexo F. Resultados de las simulaciones para evaluar la DPEA

Tabla F1. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₁ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]		TCC [K]	S/P	DFL 12 000 h	FPL = DFL x F _c (F _c = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial (Con los 9 puntos) [lx]			Iluminancia mesópica promedio inicial [lx _{mes}]	Iluminancia fotópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx _{mes}]	Diferencia [%]	Uniformidad		DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]
					Lámp	Línea					Mínima	Máxima	Promedio					Prom/Min	Max/Min		
CASO 8: Ancho de calle: 12 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 11 m																					
298	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P4)	150	167	2000	0.65	0.895	0.806	10.00	36.00	20.13	18.94	16.21	15.04	-7.2%	2.0	3.6	0.46	0.0901
299	VAM	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	150	175	4000	1.60	0.545	0.491	5.12	15.00	10.55	11.73	5.18	5.81	12.3%	2.1	2.9	0.49	0.0332
300	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / FCO	175	204	4000	1.60	0.545	0.491	7.13	26.00	12.99	14.37	6.37	7.44	16.8%	1.8	3.6	0.57	0.0365
301	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / FCO	250	290	4000	1.60	0.545	0.491	8.77	39.00	16.30	18.04	7.99	9.06	13.3%	1.9	4.4	0.81	0.0312
302	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	1.60	0.650	0.585	6.04	42.00	19.15	20.63	11.20	12.26	9.4%	3.2	7.0	0.49	0.0701
303	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R3 / S / CO	150	175	4000	1.60	0.650	0.585	6.45	17.00	12.39	13.84	7.25	7.98	10.1%	1.9	2.6	0.49	0.0456
304	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	1.60	0.650	0.585	4.86	16.00	9.09	10.13	5.32	6.36	19.6%	1.9	3.3	0.33	0.0530
305	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P7)	60	66	2800	1.25	0.735	0.662	2.77	13.00	8.47	8.97	5.60	5.87	4.8%	3.1	4.7	0.18	0.0889
306	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P7)	90	98.5	2750	1.25	0.735	0.662	4.33	20.00	12.82	13.59	8.48	8.97	5.7%	3.0	4.6	0.27	0.0911
307	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P6)	140	154	2860	1.25	0.735	0.662	7.97	31.00	19.76	20.72	13.07	13.59	4.0%	2.5	3.9	0.43	0.0882
308	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P8)	140	154	2860	1.25	0.735	0.662	6.27	32.00	20.52	21.22	13.57	14.10	3.9%	3.3	5.1	0.43	0.0916
309	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	100	111	5000	1.95	0.900	0.810	2.75	10.00	6.96	8.51	5.64	6.81	20.7%	2.5	3.6	0.31	0.0614
310	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	120	134	5000	1.95	0.900	0.810	3.31	12.00	8.44	10.19	6.84	8.51	24.5%	2.5	3.6	0.37	0.0635
311	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	150	165	5000	1.95	0.900	0.810	4.14	15.00	10.50	12.39	8.51	10.19	19.8%	2.5	3.6	0.46	0.0618
312	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	1.95	0.900	0.810	3.13	12.00	7.10	8.51	5.75	6.81	18.5%	2.3	3.8	0.25	0.0757
313	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	1.95	0.900	0.810	3.69	14.00	8.33	10.19	6.74	7.95	17.9%	2.3	3.8	0.31	0.0716
314	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	1.95	0.900	0.810	4.13	16.00	9.31	11.29	7.54	9.07	20.3%	2.3	3.9	0.37	0.0677
315	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	1.95	0.900	0.810	5.16	20.00	11.70	13.48	9.47	11.29	19.2%	2.3	3.9	0.46	0.0684
316	LEDs	eLumen	LED-SL 66W	- / - / - (4.5*)	n.a.	69	5000	1.80	0.920	0.828	3.65	9.89	7.29	8.84	6.03	7.18	19.0%	2.0	2.7	0.19	0.1041
317	LEDs	eLumen	LED-SL 100W	- / - / - (4.5*)	n.a.	104	5000	1.80	0.920	0.828	5.45	15.00	10.87	12.65	9.00	10.48	16.4%	2.0	2.8	0.29	0.1008
318	LEDs	eLumen	LED-SL 150WX	- / - / - (4.5*)	n.a.	155	5000	1.80	0.920	0.828	7.63	21.00	15.34	17.46	12.71	14.26	12.2%	2.0	2.8	0.43	0.0920
319	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	65	6000	2.05	0.920	0.828	3.19	13.00	6.57	8.09	5.44	6.94	27.6%	2.1	4.1	0.18	0.1068
320	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	80	6000	2.05	0.920	0.828	3.66	19.00	8.64	10.35	7.15	8.66	21.0%	2.4	5.2	0.22	0.1083
321	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	2.05	0.920	0.828	4.53	22.00	10.42	12.02	8.31	10.35	24.5%	2.2	4.9	0.26	0.1089
322	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	115	6000	2.05	0.920	0.828	5.34	25.00	11.47	13.68	9.49	11.47	20.8%	2.1	4.7	0.32	0.0997
323	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	127	6000	2.05	0.920	0.828	6.20	27.00	12.81	15.32	10.61	12.57	18.5%	2.1	4.4	0.35	0.0990
324	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Wide)	n.a.	157	6000	2.05	0.920	0.828	7.14	28.00	13.93	16.40	11.53	13.68	18.6%	2.0	3.9	0.44	0.0871
325	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	1.80	0.920	0.828	2.43	11.00	6.66	7.73	5.52	6.62	20.0%	2.7	4.5	0.12	0.1540
326	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	1.80	0.920	0.828	2.38	12.00	7.06	8.29	5.85	7.18	22.8%	3.0	5.0	0.15	0.1305
327	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	1.80	0.920	0.828	3.12	16.00	9.44	11.03	7.81	9.39	20.2%	3.0	5.1	0.18	0.1445
328	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	1.80	0.920	0.828	4.31	22.00	12.69	14.26	10.50	12.11	15.3%	2.9	5.1	0.24	0.1408
329	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	110	5000	1.80	0.920	0.828	4.95	23.00	13.81	15.86	11.44	13.19	15.3%	2.8	4.6	0.31	0.1199
330	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 450 mA	R2 / S / -	n.a.	143	5000	1.80	0.920	0.828	5.82	29.00	17.08	19.04	14.14	15.86	12.2%	2.9	5.0	0.40	0.1109
CASO 9: Ancho de calle: 12 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 11 m																					
331	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	0.65	0.875	0.788	2.74	14.00	7.98	7.32	6.29	5.89	-6.3%	2.9	5.1	0.26	0.0471
332	VSAP	American Electric	Roadway Series 125	R2 / M / FCO	250	286	2000	0.65	0.875	0.788	14.00	48.00	28.81	27.80	22.69	21.40	-5.7%	2.1	3.4	0.60	0.0748
333	VSAP	American Electric	Roadway Series 325	R3 / M / FCO	250	286	2000	0.65	0.875	0.788	10.00	39.00	20.50	19.43	16.14	15.04	-6.8%	2.1	3.9	0.60	0.0526
334	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	150	172	2000	0.65	0.875	0.788	4.60	36.00	15.39	14.55	12.12	11.16	-7.9%	3.3	7.8	0.36	0.0649
335	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	172	2000	0.65	0.875	0.788	3.62	28.00	13.65	12.61	10.75	9.71	-9.6%	3.8	7.7	0.36	0.0565
336	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	250	286	2000	0.65	0.875	0.788	6.84	40.00	19.62	18.46	15.45	14.55	-5.8%	2.9	5.8	0.60	0.0509
337	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVF	R2 / - / CO	250	286	2000	0.65	0.875	0.788	11.00	40.00	22.31	21.40	17.57	16.50	-6.1%	2.0	3.6	0.60	0.0577
338	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP221	- / - / - (P3)	70	80	2000	0.65	0.895	0.806	2.06	13.00	5.85	5.42	4.71	4.01	-14.8%	2.8	6.3	0.17	0.0501
339	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P3)	100	114	2000	0.65	0.895	0.806	3.81	23.00	9.88	9.23	7.96	7.32	-8.0%	2.6	6.0	0.24	0.0642
340	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P3)	150	167	2000	0.65	0.895	0.806	6.60	35.00	15.53	14.55	12.51	11.65	-6.9%	2.4	5.3	0.35	0.0698
341	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P4)	150	167	2000	0.65	0.895	0.806	6.52	34.00	15.37	14.55	12.38	11.65	-5.9%	2.4	5.2	0.35	0.0698
342	VAM	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	150	175	4000	1.60	0.545	0.491	2.81	15.00	7.92	9.06	3.89	4.70	21.0%	2.8	5.3	0.36	0.0269
343	VAM	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	175	204	4000	1.60	0.545	0.491	3.84	17.00	8.28	9.59	4.06	4.70	15.8%	2.2	4.4	0.43	0.0230
344	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / CO	175	204	4000	1.60	0.545	0.491	5.11	24.00	10.09	11.20	4.95	5.81	17.4%	2.0	4.7	0.43	0.0285
345	VAM	American Electric	DuraStar Series 30	R2 / M / FCO	250	290	4000	1.60	0.545	0.491	5.89	22.00	14.03	15.42	6.88	7.98	16.0%	2.4	3.7	0.60	0.0275
346	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / FCO	250	290	4000	1.60	0.545	0.491	4.69	38.00	13.16	14.37	6.46	7.44	15.2%	2.8	8.1	0.60	0.0257
347	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	1.60	0.650	0.585	4.42	38.00	14.56	15.94	8.52	9.59	12.6%	3.3	8.6	0.36	0.0548

Tabla F1. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₁ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]	Lámp Linea	TCC [k]	S/P	DFL 12 000 h (F _c = 0,90)	FPL = DFL x F _c	Iluminancia fotoséptica inicial [lx]		Iluminancia fotoséptica promedio [lx]		Iluminancia fotoséptica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia fotoséptica promedio a las 12 000 h [lx]	Diferencia [%]	Uniformidad	DPEA [W/m ²] a las 12 000 h	Luxes por unidad de carga [lx/m ² /W]	
											Iluminancia fotoséptica inicial [lx]	Iluminancia fotoséptica promedio [lx]	Iluminancia fotoséptica promedio [lx]	Iluminancia fotoséptica promedio [lx]							
348	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R3 / S / CO	150	175	4000	1.60	0.650	0.585	2.94	17.00	10.82	12.26	6.33	7.44	17.6%	3.7	5.8	0.36	0.425
349	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	1.60	0.650	0.585	3.47	15.00	6.95	7.98	4.06	4.70	15.6%	2.0	4.3	0.25	0.392
350	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P10)	60	66	2800	1.25	0.735	0.662	1.45	11.00	6.27	6.91	4.15	4.30	3.7%	4.3	7.6	0.14	0.652
351	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P10)	90	98.5	2750	1.25	0.735	0.662	2.41	17.00	9.85	10.51	6.51	6.91	6.1%	4.1	7.1	0.21	0.702
352	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P9)	140	154	2860	1.25	0.735	0.662	4.33	28.00	15.65	16.14	10.35	11.03	6.6%	3.6	6.5	0.32	0.716
353	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P10)	140	154	2860	1.25	0.735	0.662	3.80	28.00	15.72	16.14	10.40	11.03	6.1%	4.1	7.4	0.32	0.716
354	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	1.95	0.900	0.810	2.14	11.00	5.31	6.81	4.30	31.7%	2.5	5.1	0.19	0.629	
355	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	1.95	0.900	0.810	2.51	13.00	6.28	7.95	5.08	6.24	22.7%	2.5	5.2	0.23	0.562
356	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	1.95	0.900	0.810	2.81	15.00	7.12	8.51	5.77	7.38	27.9%	2.5	5.3	0.28	0.551
357	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	1.95	0.900	0.810	3.52	19.00	8.66	10.74	7.18	8.51	18.6%	2.5	5.4	0.34	0.516
358	LEDs	elumen	LED-SL-66W	- / - / - (9°)	n.a.	69	5000	1.80	0.920	0.828	1.84	6.32	4.98	6.06	4.13	4.92	19.2%	2.7	3.4	0.14	0.713
359	LEDs	elumen	LED-SL-100W	- / - / - (9°)	n.a.	104	5000	1.80	0.920	0.828	2.79	9.57	7.56	8.84	6.26	7.73	23.6%	2.7	3.4	0.22	0.743
360	LEDs	elumen	LED-SL-150WX	- / - / - (9°)	n.a.	155	5000	2.05	0.920	0.828	3.91	13.00	10.57	12.11	8.76	10.48	19.7%	2.7	3.3	0.32	0.676
361	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	65	6000	2.05	0.920	0.828	2.20	13.00	4.96	6.36	4.10	5.18	26.3%	2.3	5.9	0.14	0.797
362	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	80	6000	2.05	0.920	0.828	2.44	18.00	6.40	8.09	5.30	6.94	31.0%	2.6	7.4	0.17	0.868
363	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	2.05	0.920	0.828	2.94	21.00	7.45	9.22	6.17	7.51	21.7%	2.5	7.1	0.20	0.791
364	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	115	6000	2.05	0.920	0.828	3.40	24.00	8.61	10.35	7.13	8.66	21.5%	2.5	7.1	0.24	0.753
365	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	127	6000	2.05	0.920	0.828	3.92	25.00	9.48	11.47	7.85	9.79	24.8%	2.4	6.4	0.26	0.771
366	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Wide)	n.a.	157	6000	2.05	0.920	0.828	4.83	26.00	11.19	13.13	9.27	11.47	23.8%	2.3	5.4	0.33	0.731
367	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	1.80	0.920	0.828	1.45	9.94	5.30	6.62	4.39	5.49	25.1%	3.7	6.9	0.11	0.998
368	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	1.80	0.920	0.828	2.12	13.00	7.03	8.29	5.82	7.18	23.3%	3.3	6.1	0.14	0.1105
369	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	1.80	0.920	0.828	2.93	17.00	9.45	11.03	7.82	9.39	20.0%	3.2	5.8	0.18	0.1092
370	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-96M @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	110	5000	1.80	0.920	0.828	3.08	20.00	10.48	12.11	8.68	9.94	14.5%	3.4	6.5	0.23	0.904
371	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-96M @ 450 mA	R2 / S / -	n.a.	143	5000	1.80	0.920	0.828	3.74	24.00	12.50	14.26	10.35	12.11	17.0%	3.3	6.4	0.30	0.847
372	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-96M @ 525mA	R2 / S / -	n.a.	175	5000	1.80	0.920	0.828	4.99	33.00	17.75	19.57	14.69	16.40	11.6%	3.6	6.6	0.36	0.937

CASO 9: Ancho de calle: 12 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 11 m

Anexo F. Resultados de las simulaciones para evaluar la DPEA

Tabla F2. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₂ y R₃

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]		TCC [K]	S/P	DFL 12 000 h	FPL = DFL x F _e (F _e = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial (Con los 9 puntos) [lx]			Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx _{mes}]	Diferencia [%]	Uniformidad		DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]	
					Lámp	Línea					Mínima	Máxima	Promedio				Prom/Min	Max/Min			
CASO 1: Ancho de calle: 7,5 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 7,5 m																					
1	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	21	0.875	0.788	2.31	18.00	7.59	6.73	5.98	5.32	-11.0%	3.3	7.8	0.39	0.0605
2	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	4.09	33.00	16.41	15.32	12.92	11.96	-7.4%	4.0	8.1	0.56	0.0957
3	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / NCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	5.17	50.00	19.88	18.71	15.65	14.36	-8.3%	3.8	9.7	0.56	0.1149
4	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R3 / - / NCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	3.82	28.00	14.82	13.88	11.67	10.52	-9.8%	3.9	7.3	0.56	0.0842
5	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P1)	70	80	2000	21	0.895	0.806	4.12	32.00	12.57	11.48	10.12	9.10	-10.1%	3.1	7.8	0.36	0.1138
6	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	70	80	2000	21	0.895	0.806	3.46	29.00	11.74	10.52	9.46	8.62	-8.9%	3.4	8.4	0.36	0.1078
7	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P1)	100	114	2000	21	0.895	0.806	6.89	50.00	20.03	18.71	16.13	14.84	-8.0%	2.9	7.3	0.51	0.1302
8	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	100	114	2000	21	0.895	0.806	6.63	49.00	19.71	18.23	15.88	14.84	-6.5%	3.0	7.4	0.51	0.1302
9	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	65	0.545	0.491	4.30	38.00	15.03	16.75	7.37	8.68	17.7%	3.5	8.8	0.53	0.0723
10	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	6.11	33.00	13.86	15.69	8.11	9.23	13.9%	2.3	5.4	0.53	0.0769
11	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / M / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	6.76	38.00	14.48	16.22	8.47	9.77	15.4%	2.1	5.6	0.53	0.0814
12	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P5X)	60	66	2800	73	0.735	0.662	3.45	27.00	12.24	12.67	8.10	8.53	5.4%	3.5	7.8	0.29	0.1292
13	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P10)	60	66	2800	73	0.735	0.662	3.91	26.00	12.80	13.70	8.47	9.05	6.9%	3.3	6.6	0.29	0.1371
14	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P7)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	6.63	41.00	19.34	20.36	12.80	13.70	7.1%	2.9	6.2	0.44	0.1391
15	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P10)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	6.56	40.00	19.88	20.87	13.15	13.70	4.2%	3.0	6.1	0.44	0.1391
16	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	40	44	5000	85	0.900	0.810	1.50	13.00	4.98	6.42	4.04	5.23	29.6%	3.3	8.7	0.20	0.1189
17	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	82	0.900	0.810	2.66	15.00	6.80	8.75	5.51	7.01	27.2%	2.6	5.6	0.27	0.1149
18	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	70	78	5000	82	0.900	0.810	4.64	24.00	8.84	11.03	7.16	8.75	22.1%	3.3	9.1	0.35	0.1122
19	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	82	0.900	0.810	2.26	24.00	10.87	13.28	8.80	11.03	25.3%	2.6	5.6	0.40	0.1226
20	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0.900	0.810	5.01	29.00	12.90	15.50	10.45	12.72	21.7%	2.6	5.8	0.49	0.1146
21	LEDs	elumen	LED-SL 33W	- / - / (4.5*)	n.a.	36	5000	82	0.920	0.828	0.86	8.85	5.25	6.78	4.35	5.64	29.7%	6.1	10.3	0.16	0.1567
22	LEDs	elumen	LED-SL 50WX	- / - / (4.5*)	n.a.	55	5000	82	0.920	0.828	1.11	11.00	6.75	8.49	5.59	6.78	21.3%	6.1	9.9	0.24	0.1233
23	LEDs	elumen	LED-SL 66W	- / - / (4.5*)	n.a.	69	5000	82	0.920	0.828	1.70	18.00	10.57	12.39	8.75	10.73	22.6%	6.2	10.6	0.31	0.1555
24	LEDs	elumen	LED-SL 100W	- / - / (4.5*)	n.a.	104	5000	82	0.920	0.828	2.53	27.00	15.84	18.38	13.11	15.13	15.4%	6.3	10.7	0.46	0.1455
25	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	52	6000	70	0.920	0.828	2.60	24.00	8.07	10.08	6.68	8.33	24.7%	3.1	9.2	0.23	0.1602
26	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	65	6000	70	0.920	0.828	3.99	28.00	10.02	12.36	8.29	10.65	28.4%	2.5	7.0	0.29	0.1638
27	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	80	6000	70	0.920	0.828	4.36	40.00	13.19	15.74	10.92	13.50	23.6%	3.0	9.2	0.36	0.1688
28	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	5.46	42.00	14.67	17.41	12.15	14.62	20.3%	2.7	7.7	0.42	0.1539
29	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-245 @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	22	5000	70	0.920	0.828	1.36	9.79	5.35	6.78	4.43	5.64	27.4%	3.9	7.2	0.10	0.2564
30	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-245 @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	28	5000	70	0.920	0.828	1.63	13.00	6.67	7.92	5.52	6.78	22.8%	4.1	8.0	0.12	0.2421
31	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0.920	0.828	2.97	20.00	10.54	12.39	8.73	10.17	16.6%	3.5	6.7	0.19	0.2365
32	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0.920	0.828	2.57	21.00	11.10	12.94	9.19	10.73	16.7%	4.3	8.2	0.24	0.1951
33	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	3.65	27.00	14.68	16.76	12.16	14.04	15.5%	4.0	7.4	0.29	0.2160
34	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0.920	0.828	5.12	36.00	19.68	22.13	16.29	18.92	16.1%	3.8	7.0	0.38	0.2200
CASO 2: Ancho de calle: 7,5 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 10 m																					
35	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	21	0.875	0.788	1.34	10.00	4.39	3.93	3.45	3.01	-12.8%	3.3	7.5	0.29	0.0342
36	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / NCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	3.02	30.00	11.83	11.00	9.32	8.62	-7.5%	3.9	9.9	0.42	0.0690
37	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	5.06	48.00	17.75	15.01	13.88	13.88	-7.6%	3.8	9.5	0.57	0.0807
38	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	70	80	2000	21	0.895	0.806	2.01	15.00	6.96	6.26	5.60	4.86	-13.3%	3.5	7.5	0.27	0.0608
39	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	100	114	2000	21	0.895	0.806	3.66	27.00	11.67	10.52	9.40	8.62	-8.3%	3.2	7.4	0.38	0.0756
40	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	65	0.545	0.491	2.49	20.00	8.47	9.77	4.15	4.80	15.6%	3.4	8.0	0.40	0.0400
41	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	65	0.65	0.585	2.83	19.00	7.06	8.14	4.13	4.80	16.2%	2.5	6.7	0.40	0.0400
42	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	65	0.65	0.585	4.11	29.00	14.52	16.22	8.50	9.77	15.0%	3.5	7.1	0.58	0.0558
43	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P11)	60	66	2800	73	0.735	0.662	3.77	16.00	8.24	8.53	5.45	5.92	8.6%	2.2	4.2	0.22	0.0897
44	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P11)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	6.06	24.00	12.53	13.18	8.29	9.05	9.2%	2.1	4.0	0.33	0.0919
45	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	40	44	5000	85	0.900	0.810	0.93	7.70	3.13	4.02	2.54	3.41	34.5%	3.4	8.3	0.15	0.0775
46	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	82	0.900	0.810	1.63	8.58	4.13	5.23	3.34	4.63	38.5%	2.5	5.3	0.20	0.0759
47	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	70	78	5000	82	0.900	0.810	1.64	14.00	5.62	7.01	4.55	5.83	28.2%	3.4	8.5	0.26	0.0747
48	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	82	0.900	0.810	2.61	14.00	6.61	8.17	5.35	7.01	31.0%	2.5	5.4	0.30	0.0779
49	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0.900	0.810	3.07	16.00	7.82	9.90	6.33	8.17	29.0%	2.5	5.2	0.37	0.0736
50	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	82	0.900	0.810	3.44	18.00	8.69	10.46	7.04	8.75	24.3%	2.5	5.2	0.45	0.0653

Tabla F2. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₂ y R₃ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]	Lámp Linea	TCC	S/P	DFL	FPL = DFL x F _r (F _r = 0,90)	Iluminancia fotográfica inicial [lx]	Iluminancia mesopica promedio [lx]	Iluminancia fotográfica inicial [lx]	Iluminancia mesopica promedio [lx]	Iluminancia a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesopica promedio a las 12 000 h [lx]	Diferencia [%]	Uniformidad	DFA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]	CASO 2: Ancho de calle: 7,5 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 10 m	
																					Altura de montaje: 40 m	Diferencia [%]

51	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	82	0.900	0.810	4.30	23.00	10.97	13.28	8.89	11.03	24.1%	2.6	5.3	0.55	0.668		
52	LEDs	eumen	LED-SL33W	- / - / - (4.5°)	n.a.	36	5000	82	0.920	0.828	0.51	4.64	3.05	3.87	2.52	3.28	30.1%	6.0	9.1	0.12	0.0911		
53	LEDs	eumen	LED-SL50WX	- / - / - (4.5°)	n.a.	69	5000	82	0.920	0.828	1.00	9.26	6.07	7.36	5.03	6.21	37.2%	6.1	9.1	0.18	0.0813		
54	LEDs	eumen	LED-SL66W	- / - / - (4.5°)	n.a.	52	5000	82	0.920	0.828	1.00	9.26	6.07	7.36	5.03	6.21	37.2%	6.1	9.1	0.18	0.0813		
55	LEDs	eumen	LED-SL100W	- / - / - (4.5°)	n.a.	104	5000	82	0.920	0.828	1.51	14.00	9.30	11.29	7.70	9.05	32.2%	6.2	9.3	0.35	0.0870		
56	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	65	6000	70	0.920	0.828	1.50	13.00	4.89	6.56	4.05	5.35	32.2%	8.7	8.7	0.17	0.1029		
57	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	65	6000	70	0.920	0.828	2.29	14.00	6.07	7.74	5.02	5.66	30.5%	2.7	6.1	0.22	0.1009		
58	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	2.40	21.00	7.74	9.50	6.41	8.33	30.0%	2.8	8.8	0.27	0.1041		
59	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	3.16	22.00	8.85	11.22	7.33	9.50	29.6%	2.8	7.0	0.32	0.1000		
60	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	115	6000	70	0.920	0.828	3.36	28.00	10.43	12.93	8.63	10.65	23.3%	3.1	8.3	0.38	0.0926		
61	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-245 @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	22	5000	70	0.920	0.828	0.81	5.55	3.17	3.87	2.62	3.28	25.1%	3.9	6.9	0.07	0.1491		
62	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-245 @ 350 ma	R2 / S / -	n.a.	28	5000	70	0.920	0.828	1.00	7.50	4.27	5.64	3.54	4.47	26.4%	4.3	7.5	0.09	0.1596		
63	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0.920	0.828	1.86	12.00	6.70	7.92	5.55	6.78	22.3%	3.6	6.5	0.14	0.1577		
64	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 350 ma	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0.920	0.828	1.56	12.00	6.79	8.49	5.62	6.78	20.6%	4.4	7.7	0.18	0.1233		
65	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	2.22	16.00	8.89	10.73	7.36	9.05	22.9%	4.0	7.2	0.22	0.1392		
66	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0.920	0.828	3.09	21.00	12.00	14.04	9.94	11.84	19.1%	3.9	6.8	0.29	0.1377		

67	VSAF	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	21	0.875	0.788	2.28	16.00	7.20	6.26	5.67	4.86	-14.3%	3.2	7.0	0.33	0.0552			
68	VSAF	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / NCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	4.81	48.00	18.91	17.75	14.89	13.88	-6.8%	3.9	10.0	0.46	0.1110			
69	VSAF	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R3 / - / NCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	3.66	29.00	14.59	13.40	11.49	10.52	-8.4%	4.0	7.9	0.46	0.0842			
70	VSAF	Philips	Aluroad SRP222	- / - / - (P1)	70	80	2000	21	0.895	0.806	3.76	31.00	11.58	10.52	9.32	8.62	-7.6%	3.4	8.2	0.30	0.1078			
71	VSAF	Philips	Aluroad SRP222	- / - / - (P3)	70	80	2000	21	0.895	0.806	3.27	29.00	11.06	10.05	8.91	8.15	-8.5%	3.4	8.9	0.30	0.1019			
72	VSAF	Philips	Aluroad SRP222	- / - / - (P3)	70	80	2000	21	0.895	0.806	6.13	49.00	18.59	17.26	14.98	13.88	-7.3%	3.0	8.0	0.42	0.1218			
73	VSAF	Philips	Aluroad SRP222	- / - / - (P3)	100	114	2000	21	0.895	0.806	4.11	37.00	14.16	16.22	7.07	8.2	-8.4%	3.5	9.0	0.44	0.0678			
74	VSAF	Philips	Auroad SRP222	- / - / - (P4)	100	120	4000	65	0.545	0.491	5.86	48.00	18.60	16.78	14.63	13.40	-8.4%	3.1	8.2	0.42	0.1175			
75	VAM	American Electric	Corpus Series CVM	R2 / M / NCO	100	110	4000	65	0.650	0.585	4.11	33.00	13.07	14.63	7.64	8.68	-13.0%	2.5	5.7	0.44	0.0769			
76	VAM	PS	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	5.18	30.00	13.02	14.63	7.62	8.68	-14.0%	2.5	5.8	0.44	0.0723			
77	VAM	PS	M-250R2	R3 / M / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	5.27	33.00	13.07	14.63	7.64	8.68	-13.0%	2.5	5.7	0.44	0.0769			
78	VAM	PS	GE	R3 / M / CO	100	140	4000	65	0.650	0.585	2.44	14.00	6.46	8.17	5.23	6.42	-22.6%	2.6	5.7	0.23	0.1052			
79	VAM	C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P7)	60	66	2800	73	0.735	0.662	3.55	26.00	11.69	12.15	7.73	8.01	-3.6%	3.3	7.3	0.24	0.1214		
80	VAM	C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P7)	60	66	2800	73	0.735	0.662	2.56	25.00	11.67	12.15	7.73	8.01	-3.6%	3.3	7.3	0.24	0.1214		
81	VAM	C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P7)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	5.92	40.00	17.90	18.83	11.84	12.67	-7.0%	3.0	6.8	0.36	0.1286		
82	VAM	C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P10)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	4.30	38.00	18.13	18.83	11.99	12.67	-5.7%	4.2	8.8	0.36	0.1286		
83	VAM	C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P11)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	3.90	36.00	17.99	18.83	11.90	12.67	-6.4%	4.1	9.2	0.36	0.1286		
84	VAM	C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P11)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	1.72	14.00	6.98	8.75	5.66	6.47	-23.9%	4.1	8.1	0.29	0.0899		
85	Inducción	Everlast Lighting	Charveix Cobra	R2 / - / FCO	80	90	5000	85	0.900	0.810	2.09	17.00	8.37	10.46	6.78	8.75	-29.1%	4.0	8.1	0.33	0.0972			
86	Inducción	Everlast Lighting	Charveix Cobra	R2 / - / FCO	100	111	5000	85	0.900	0.810	1.40	20.00	9.92	12.15	8.03	9.90	-23.2%	4.0	8.2	0.41	0.0892			
87	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	40	44	5000	85	0.900	0.810	2.47	23.00	10.31	12.72	8.35	10.46	-25.2%	2.6	5.9	0.33	0.1122			
88	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	82	0.900	0.810	2.44	14.00	6.46	8.17	5.23	6.42	-22.6%	2.6	5.7	0.23	0.1052			
89	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	70	78	5000	82	0.900	0.810	2.47	23.00	10.31	12.72	8.35	10.46	-25.2%	2.6	5.9	0.33	0.1122			
90	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	80	5000	82	0.900	0.810	3.92	23.00	10.31	12.72	8.35	10.46	-25.2%	2.6	5.9	0.33	0.1122			
91	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0.900	0.810	4.61	27.00	12.23	14.39	9.91	12.15	-22.6%	2.7	5.9	0.41	0.1095			
92	LEDs	eumen	LED-SL33W	- / - / - (4.5°)	n.a.	36	5000	82	0.920	0.828	0.78	7.78	4.88	6.21	4.04	5.05	-25.0%	6.3	10.0	0.13	0.1403			
93	LEDs	eumen	LED-SL50WX	- / - / - (4.5°)	n.a.	55	5000	82	0.920	0.828	1.00	10.00	6.30	7.92	5.22	6.3	-19.1%	6.3	10.0	0.20	0.1129			
94	LEDs	eumen	LED-SL66W	- / - / - (4.5°)	n.a.	69	5000	82	0.920	0.828	1.53	16.00	9.76	11.84	8.08	9.62	-19.0%	6.4	10.5	0.26	0.1394			
95	LEDs	eumen	LED-SL100W	- / - / - (4.5°)	n.a.	104	5000	82	0.920	0.828	2.29	24.00	14.55	16.76	11.93	14.04	-15.4%	6.4	10.5	0.29	0.1350			
96	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	52	6000	70	0.920	0.828	2.43	23.00	7.21	8.92	5.97	7.4	-29.6%	3.0	9.5	0.19	0.1488			
97	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	65	6000	70	0.920	0.828	3.79	27.00	9.05	11.22	7.49	9.50	-26.8%	2.4	7.1	0.24	0.1462			
98	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	4.10	34.00	13.93	14.62	9.84	12.36	-21.9%	2.7	7.1	0.30	0.1545			
99	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	5.13	44.00	16.55	18.75	11.53	14.06	-21.9%	2.7	8.6	0.35	0.1480			
100	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-245 @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	22	5000	70	0.920	0.828	0.98	5.00	2.92	3.68	3.05	3.87	-27.0%	3.8	9.0	0.08	0.175			

Anexo F. Resultados de las simulaciones para evaluar la DPEA

Tabla F2. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₂ y R₃ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]		TCC [K]	S/P	DFL 12 000 h	FPL = DFL x F _E (F _E = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial (Con los 9 puntos) [lx]			Iluminancia mesópica promedio inicial [lx _{mes}]	Iluminancia fotópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx _{mes}]	Diferencia [%]	Uniformidad		DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]
					Lámp	Línea					Mínima	Máxima	Promedio					Prom/Min	Max/Min		
CASO 3: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 7,5 m																					
101	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-24S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	28	5000	70	0.920	0.828	1.25	13.00	6.00	7.36	4.97	6.21	25.0%	4.8	10.4	0.10	0.2218
102	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0.920	0.828	2.24	20.00	9.30	11.29	7.70	9.05	17.5%	4.2	8.9	0.16	0.2105
103	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0.920	0.828	1.97	21.00	9.89	11.84	8.19	9.62	17.4%	5.0	10.7	0.20	0.1749
104	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	2.81	27.00	13.28	15.67	11.00	12.94	17.6%	4.7	9.6	0.24	0.1991
105	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0.920	0.828	4.01	36.00	17.67	19.99	14.63	16.76	14.6%	4.4	9.0	0.32	0.1949
CASO 4: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 9 m																					
106	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	21	0.875	0.788	2.65	12.00	6.19	5.32	4.87	4.39	-9.9%	2.3	4.5	0.33	0.0499
107	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	4.94	25.00	13.15	11.96	10.36	9.57	-7.6%	2.7	5.1	0.46	0.0766
108	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R3 / M / FCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	4.90	25.00	13.07	11.96	10.29	9.57	-7.0%	2.7	5.1	0.46	0.0766
109	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / NCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	5.46	40.00	17.27	16.29	13.60	12.44	-8.5%	3.2	7.3	0.46	0.0995
110	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	6.72	33.00	20.61	19.20	16.23	14.84	-8.6%	3.1	4.9	0.64	0.0863
111	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P1)	70	80	2000	21	0.895	0.806	4.12	23.00	10.60	9.57	8.54	7.67	-10.2%	2.6	5.6	0.30	0.0959
112	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	70	80	2000	21	0.895	0.806	3.64	20.00	9.71	8.62	7.82	7.20	-7.9%	2.7	5.5	0.30	0.0900
113	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P1)	100	114	2000	21	0.895	0.806	6.40	39.00	17.35	16.29	13.97	12.92	-7.5%	2.7	6.1	0.42	0.1133
114	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	100	114	2000	21	0.895	0.806	6.25	35.00	16.27	15.32	13.10	11.96	-8.7%	2.6	5.6	0.42	0.1049
115	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	150	167	2000	21	0.895	0.806	11.00	49.00	26.06	24.55	20.99	19.68	-6.3%	2.4	4.5	0.62	0.1178
116	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	65	0.545	0.491	4.53	27.00	12.40	14.09	6.08	7.04	15.8%	2.7	6.0	0.44	0.0587
117	VAM	American Electric	DuraStar Series 20	R2 / M / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	6.47	27.00	15.35	17.28	7.53	8.68	15.3%	2.4	4.2	0.76	0.0425
118	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	9.17	36.00	16.51	18.34	8.10	9.23	14.0%	1.8	3.9	0.76	0.0452
119	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	5.56	33.00	16.11	17.81	7.90	9.23	16.8%	2.9	5.9	0.76	0.0452
120	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	7.97	48.00	23.56	25.69	13.78	15.69	13.8%	3.0	6.0	0.65	0.0897
121	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R3 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	5.56	33.00	16.11	17.81	9.42	10.86	15.3%	2.9	5.9	0.65	0.0621
122	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	5.61	22.00	11.61	13.02	6.79	8.14	19.8%	2.1	3.9	0.44	0.0678
123	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / M / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	5.52	26.00	11.80	13.55	6.90	8.14	17.9%	2.1	4.7	0.44	0.0678
124	VAM PS	GE	M-250R2	R3 / M / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	5.00	25.00	11.26	13.02	6.59	7.59	15.2%	2.3	5.0	0.44	0.0633
125	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P6)	60	66	2800	73	0.735	0.662	3.54	19.00	10.38	11.12	6.86	7.49	9.1%	2.9	5.4	0.24	0.1135
126	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P8)	60	66	2800	73	0.735	0.662	4.38	20.00	10.94	11.64	7.24	7.49	3.5%	2.5	4.6	0.24	0.1135
127	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P5X)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	5.14	28.00	15.72	16.27	10.40	11.12	6.9%	3.1	5.4	0.36	0.1129
128	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P7)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	5.98	30.00	16.55	17.29	10.95	11.64	6.3%	2.8	5.0	0.36	0.1182
129	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P7)	140	154	2860	66	0.735	0.662	9.44	47.00	25.97	26.98	17.18	17.80	3.6%	2.8	5.0	0.57	0.1156
130	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P10)	140	154	2860	66	0.735	0.662	8.90	47.00	26.99	28.00	17.86	18.83	5.5%	3.0	5.3	0.57	0.1223
131	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	80	90	5000	85	0.900	0.810	2.92	12.00	7.59	9.32	6.15	7.59	23.5%	2.6	4.1	0.33	0.0843
132	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	100	111	5000	85	0.900	0.810	3.42	14.00	8.75	10.46	7.08	8.75	23.5%	2.6	4.1	0.41	0.0788
133	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	120	134	5000	85	0.900	0.810	4.12	17.00	10.92	13.28	8.84	11.03	24.7%	2.7	4.1	0.50	0.0823
134	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	150	165	5000	85	0.900	0.810	5.16	21.00	13.50	16.05	10.94	13.28	21.4%	2.6	4.1	0.61	0.0805
135	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	85	0.900	0.810	2.36	11.00	5.72	7.01	4.64	5.83	25.7%	2.4	4.7	0.23	0.0956
136	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	82	0.900	0.810	3.78	17.00	9.13	11.03	7.40	9.32	26.0%	2.4	4.5	0.33	0.1036
137	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0.900	0.810	4.45	20.00	10.74	12.72	8.70	10.46	20.2%	2.4	4.5	0.41	0.0942
138	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	82	0.900	0.810	4.98	22.00	12.19	14.39	9.87	12.15	23.1%	2.4	4.4	0.50	0.0907
139	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	82	0.900	0.810	6.23	28.00	15.11	17.70	12.24	14.39	17.6%	2.4	4.5	0.61	0.0872
140	LEDs	eLumen	LED-SL 33W	- / - / (4.5°)	n.a.	36	5000	82	0.920	0.828	1.21	6.27	4.34	5.64	3.59	4.47	24.5%	3.6	5.2	0.13	0.1242
141	LEDs	eLumen	LED-SL 50WX	- / - / (4.5°)	n.a.	55	5000	82	0.920	0.828	1.57	8.09	5.60	6.78	4.64	5.64	21.7%	3.6	5.2	0.20	0.1025
142	LEDs	eLumen	LED-SL 66W	- / - / (4.5°)	n.a.	69	5000	82	0.920	0.828	2.40	13.00	8.70	10.17	7.20	8.49	17.9%	3.6	5.4	0.26	0.1230
143	LEDs	eLumen	LED-SL 100W	- / - / (4.5°)	n.a.	104	5000	82	0.920	0.828	3.58	19.00	12.79	15.13	10.59	12.39	17.0%	3.6	5.3	0.39	0.1191
144	LEDs	eLumen	LED-SL 100WX	- / - / (4.5°)	n.a.	105	5000	82	0.920	0.828	3.09	16.00	11.09	12.94	9.19	10.73	16.8%	3.6	5.2	0.39	0.1022
145	LEDs	eLumen	LED-SL 150WX	- / - / (4.5°)	n.a.	155	5000	82	0.920	0.828	5.01	26.00	18.35	21.06	15.20	17.30	13.8%	3.7	5.2	0.57	0.1116
146	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	52	6000	70	0.920	0.828	2.46	18.00	6.55	8.33	5.43	7.15	31.7%	2.7	7.3	0.19	0.1375
147	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	65	6000	70	0.920	0.828	3.73	19.00	8.02	10.08	6.64	8.33	25.5%	2.1	5.1	0.24	0.1282
148	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	80	6000	70	0.920	0.828	4.12	27.00	10.40	12.93	8.61	10.65	23.7%	2.5	6.6	0.30	0.1331
149	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	4.92	29.00	11.88	14.62	9.83	12.36	25.7%	2.4	5.9	0.35	0.1301
150	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	115	6000	70	0.920	0.828	5.81	36.00	14.12	16.85	11.69	14.06	20.3%	2.4	6.2	0.43	0.1223

Tabla F2. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₂ y R₃ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]	Lamp Linea	TCC [K]	S/P	DfL 12 000 h	FPL = DFL x F _r (F _r = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial [lx]	Iluminancia fotópica promedio [lx]	Iluminancia mesópica promedio [lx]	Iluminancia fotópica inicial [lx]	Iluminancia mesópica promedio [lx]	Iluminancia a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx]	Diferencia [%]	Uniformidad	DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /M ²]	CASO 4: Ancho de calle: 9 m Distancia Interpostal: 30 m Altura de montaje: 9 m		
																						158	159	160
151	LEDs	GE	Evolve	R2 / S / -	127	6000	70	0.920	0.828	6.60	37.00	15.44	18.52	12.78	15.74	23.2%	2.3	5.6	0.47	0.1239				
152	LEDs	SAT-245 @ 350 ma	R2 / S / -	n.a.	28	5000	70	0.920	0.828	1.57	9.59	5.65	6.78	4.68	5.64	20.9%	3.6	6.1	0.10	0.2014				
153	LEDs	SAT-485 @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0.920	0.828	2.85	15.00	8.75	10.17	7.24	8.49	17.0%	4.0	5.2	0.16	0.1974				
154	LEDs	SAT-485 @ 350 ma	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0.920	0.828	2.35	16.00	9.34	11.29	7.73	9.05	17.0%	4.0	6.8	0.20	0.1645				
155	LEDs	SAT-72M @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	3.56	20.00	12.49	14.88	10.34	12.39	19.8%	3.5	5.6	0.24	0.1906				
156	LEDs	SAT-96M @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	110	5000	70	0.920	0.828	5.05	31.00	18.41	21.06	13.73	15.67	14.1%	3.3	5.4	0.32	0.1822				
157	LEDs	SAT-96M @ 350 ma	R2 / S / -	n.a.	116	5000	70	0.920	0.828	5.05	27.00	18.41	21.06	13.73	15.67	13.5%	3.6	6.1	0.41	0.1573				
158	V5AP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / M / FCO	100	2000	21	0.875	0.788	3.12	11.00	7.06	6.26	4.86	4.86	-12.6%	2.3	3.5	0.35	0.0389				
159	V5AP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	2000	21	0.875	0.788	2.74	17.00	8.73	7.67	6.87	6.26	-8.9%	6.2	6.2	0.35	0.0501				
160	V5AP	American Electric	Roadway Series 115	R3 / M / FCO	100	2000	21	0.875	0.788	2.71	17.00	8.64	7.67	6.80	6.26	-8.0%	3.2	6.3	0.35	0.0501				
161	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / NCO	100	2000	21	0.875	0.788	3.16	25.00	10.63	9.57	8.37	7.67	-8.4%	3.4	7.9	0.35	0.0614				
162	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R3 / - / NCO	100	2000	21	0.875	0.788	2.33	17.00	7.29	6.73	5.74	4.86	-15.3%	3.1	7.3	0.35	0.0389				
163	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	5.45	40.00	17.30	12.94	13.63	12.44	-8.7%	3.2	7.3	0.48	0.0723				
164	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R3 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	3.62	26.00	12.94	11.96	10.19	9.10	-10.7%	3.6	7.2	0.48	0.0529				
165	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks VVF	R2 / - / CO	250	280	2000	21	0.875	16.00	48.00	25.44	24.06	20.03	18.71	-6.6%	1.6	3.0	0.79	0.0654				
166	V5AP Opt	Philips	Aluroad SRP222	- / - / (P1)	70	80	2000	21	0.895	2.41	15.00	6.82	5.49	4.86	-11.5%	2.8	6.2	0.22	0.0608					
167	V5AP Opt	Philips	Aluroad SRP222	- / - / (P1)	100	114	2000	21	0.895	5.08	26.00	11.25	10.05	9.06	8.15	-10.1%	2.2	5.1	0.32	0.0715				
168	V5AP Opt	Philips	Aluroad SRP222	- / - / (P1)	150	167	2000	21	0.895	8.40	40.00	18.55	17.26	14.78	13.88	-6.1%	2.2	4.8	0.31	0.0831				
169	V5AP	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	65	0.545	2.52	17.00	7.62	3.74	4.24	13.5%	3.0	6.7	0.33	0.0353					
170	V5AP	American Electric	DuraStar Series 30	R2 / M / FCO	250	290	4000	65	0.545	5.89	23.00	14.39	16.22	7.06	8.14	15.3%	2.4	3.9	0.81	0.0281				
171	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / CO	175	204	4000	65	0.545	4.91	24.00	13.78	15.69	6.76	8.14	20.5%	3.1	5.4	0.57	0.0399				
172	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R3 / - / CO	175	204	4000	65	0.545	2.94	27.00	10.19	11.40	5.00	5.92	18.4%	3.5	9.2	0.57	0.0290				
173	V5AP PS	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	4.42	24.00	13.78	15.69	8.06	9.23	14.4%	3.1	5.4	0.49	0.0527				
174	V5AP PS	GE	M-250R2	R2 / M / CO	100	120	4000	65	0.650	3.32	19.00	7.98	9.23	4.67	5.37	15.0%	2.4	5.7	0.33	0.0448				
175	V5AP PS	GE	M-250R2	R3 / M / CO	100	120	4000	65	0.650	2.84	18.00	7.45	8.68	4.36	5.37	23.2%	2.6	6.3	0.33	0.0448				
176	V5AP PS	GE	M-250A2	R2 / S / CO	250	220	4000	65	0.650	8.08	32.00	14.42	16.22	8.44	9.77	15.8%	1.8	4.0	0.33	0.0814				
177	V5AP C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P10)	60	66	2800	73	0.735	3.30	13.00	7.32	8.01	4.84	5.40	11.3%	2.2	3.9	0.18	0.0818				
178	V5AP C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P9)	90	98.5	2750	66	0.735	4.27	20.00	10.91	11.64	7.22	7.49	3.8%	2.6	4.7	0.27	0.0760				
179	V5AP C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P11)	90	98.5	2750	66	0.735	4.91	20.00	11.29	12.15	7.47	8.01	7.2%	2.3	4.1	0.27	0.0813				
180	V5AP C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P8)	140	154	2750	66	0.735	6.10	17.00	17.83	11.79	7.47	8.14	6.8%	2.8	5.1	0.43	0.0789				
181	V5AP C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P10)	140	154	2750	66	0.735	7.55	32.00	17.83	18.83	11.79	12.67	7.4%	2.4	4.2	0.43	0.0823				
182	Inducción	Everast Lighting	Charlovix Cobra	R2 / - / FCO	100	111	5000	85	0.900	2.23	9.68	5.90	4.78	4.78	6.42	34.4%	2.6	4.3	0.31	0.0578				
183	Inducción	Everast Lighting	Charlovix Cobra	R2 / - / FCO	120	134	5000	85	0.900	2.69	12.00	7.13	8.75	5.77	7.59	31.1%	2.7	4.5	0.37	0.0566				
184	Inducción	Everast Lighting	Charlovix Cobra	R2 / - / FCO	150	165	5000	85	0.900	3.37	15.00	8.97	11.03	7.26	9.32	28.3%	2.7	4.5	0.46	0.0565				
185	Inducción	Everast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	85	0.900	1.49	7.06	3.71	4.63	3.01	4.02	33.8%	2.5	4.7	0.17	0.0659				
186	Inducción	Everast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	85	0.900	2.81	13.00	6.98	8.75	4.90	6.42	31.0%	2.5	4.6	0.25	0.0713				
187	Inducción	Everast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	85	0.900	2.81	13.00	6.98	8.75	4.90	6.42	23.9%	2.5	4.6	0.31	0.0632				
188	Inducción	Everast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	82	0.900	3.15	15.00	7.90	6.40	8.17	8.17	27.7%	2.5	4.8	0.37	0.0610				
190	Inducción	elumen	LED-SL 50WX	- / - / (4.5*)	n.a.	55	5000	82	0.920	0.78	5.08	3.49	4.47	2.89	3.87	34.1%	4.5	6.5	0.15	0.0704				
191	LEDs	elumen	LED-SL 66W	- / - / (4.5*)	n.a.	69	5000	82	0.920	1.20	7.87	5.37	6.78	4.44	5.64	26.9%	4.5	6.6	0.19	0.0817				
192	LEDs	elumen	LED-SL 100W	- / - / (4.5*)	n.a.	104	5000	82	0.920	1.80	12.00	8.21	9.62	6.79	8.49	24.9%	4.5	6.7	0.29	0.0816				
193	LEDs	elumen	LED-SL 150WX	- / - / (4.5*)	n.a.	155	5000	82	0.920	2.52	17.00	11.32	13.49	9.37	11.29	20.9%	4.5	6.7	0.43	0.0728				
194	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	52	6000	70	0.920	1.44	10.00	4.09	5.35	3.38	4.74	40.1%	2.8	6.9	0.14	0.0912				
195	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	60	6000	70	0.920	2.20	11.00	5.06	6.56	4.19	5.35	27.7%	2.3	5.0	0.18	0.0823				
196	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	65	6000	70	0.920	2.44	18.00	6.87	8.92	5.69	7.15	25.2%	2.8	7.4	0.22	0.0894				
197	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	2.94	18.00	7.58	9.50	6.28	8.33	32.7%	2.6	6.1	0.26	0.0877				
198	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	115	6000	70	0.920	3.40	23.00	9.12	11.22	7.55	9.50	25.9%	2.7	6.8	0.32	0.0826				
199	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	127	6000	70	0.920	3.92	22.00	9.72	11.80	8.05	9.50	25.3%	2.5	5.6	0.35	0.0794				
200	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0.920	0.828	10.00	5.92	7.36	4.90	6.21	26.7%	3.3	5.6	0.12	0.1444				

Anexo F. Resultados de las simulaciones para evaluar la DPEA

Tabla F2. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₂ y R₃ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]		TCC [K]	S/P	DFL 12 000 h	FPL = DFL x F _E (F _E = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial (Con los 9 puntos) [lx]			Iluminancia mesópica promedio inicial [lx _{mes}]	Iluminancia fotópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx _{mes}]	Diferencia [%]	Uniformidad		DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]
					Lámp	Línea					Mínima	Máxima	Promedio					Prom/Min	Max/Min		
CASO 5: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 11 m																					
201	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0.920	0.828	1.49	10.00	6.29	7.92	5.21	6.21	19.2%	4.2	6.7	0.15	0.1129
202	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	2.12	13.00	8.21	9.62	6.80	8.49	24.8%	3.9	6.1	0.18	0.1306
203	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0.920	0.828	2.93	18.00	11.26	13.49	9.33	11.29	21.1%	3.8	6.1	0.24	0.1313
204	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	110	5000	70	0.920	0.828	3.16	20.00	12.36	14.58	10.23	11.84	15.7%	3.9	6.3	0.31	0.1076
205	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 450 mA	R2 / S / -	n.a.	143	5000	70	0.920	0.828	3.84	25.00	15.32	17.84	12.68	14.58	14.9%	4.0	6.5	0.40	0.1020
CASO 6: Ancho de calle: 10,5 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 9 m																					
206	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	21	0.875	0.788	2.65	12.00	5.94	5.32	4.68	3.93	-16.0%	2.2	4.5	0.28	0.0447
207	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	4.94	22.00	12.27	11.48	9.66	8.62	-10.8%	2.5	4.5	0.40	0.0690
208	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R3 / M / FCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	4.89	21.00	12.04	11.00	9.48	8.62	-9.1%	2.5	4.3	0.40	0.0690
209	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	6.80	30.00	15.24	13.88	12.00	11.00	-8.4%	2.2	4.4	0.55	0.0640
210	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / NCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	4.20	21.00	11.84	11.00	9.32	8.62	-7.5%	2.8	5.0	0.40	0.0690
211	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	6.86	49.00	24.18	22.60	19.04	17.75	-6.8%	3.5	7.1	0.55	0.1032
212	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	6.72	43.00	21.48	20.17	16.92	15.81	-6.5%	3.2	6.4	0.55	0.0919
213	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	70	80	2000	21	0.895	0.806	3.49	19.00	9.07	8.15	7.30	6.73	-7.8%	2.6	5.4	0.25	0.0841
214	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	100	114	2000	21	0.895	0.806	6.25	33.00	15.11	13.88	12.17	11.00	-9.6%	2.4	5.3	0.36	0.0965
215	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	150	167	2000	21	0.895	0.806	11.00	48.00	24.31	23.09	19.58	18.23	-6.9%	2.2	4.4	0.53	0.1092
216	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	65	0.545	0.491	4.37	26.00	12.35	14.09	6.06	7.04	16.2%	2.8	5.9	0.38	0.0587
217	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	9.17	36.00	16.01	17.81	7.85	9.23	17.5%	1.7	3.9	0.65	0.0452
218	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	7.97	42.00	22.06	24.12	10.82	12.48	15.3%	2.8	5.3	0.65	0.0612
219	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	5.56	25.00	16.35	18.34	8.02	9.23	15.1%	2.9	4.5	0.65	0.0452
220	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	7.97	48.00	22.81	25.17	13.34	15.16	13.6%	2.9	6.0	0.56	0.0866
221	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R3 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	5.56	45.00	18.85	20.98	11.03	12.48	13.2%	3.4	8.1	0.56	0.0713
222	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	5.61	22.00	10.98	12.48	6.42	7.58	18.1%	2.0	3.9	0.38	0.0632
223	VAM PS	GE	M-250R2	R3 / M / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	5.00	24.00	10.61	11.94	6.20	7.04	13.5%	2.1	4.8	0.38	0.0587
224	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P6)	60	66	2800	73	0.735	0.662	3.37	18.00	9.74	10.09	6.44	6.97	8.2%	2.9	5.3	0.21	0.1056
225	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P6)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	5.34	28.00	14.99	15.75	9.92	10.60	6.9%	2.8	5.2	0.31	0.1076
226	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P6)	140	154	2860	66	0.735	0.662	8.43	44.00	24.01	24.95	15.89	16.78	5.6%	2.8	5.2	0.49	0.1090
227	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	40	44	5000	82	0.900	0.810	1.25	9.32	3.82	5.23	3.09	4.02	30.0%	3.1	7.5	0.14	0.0914
228	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	82	0.900	0.810	2.12	11.00	5.38	7.01	4.35	5.83	33.9%	2.5	5.2	0.19	0.0956
229	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	82	0.900	0.810	3.40	17.00	8.64	10.46	7.00	8.75	25.1%	2.5	5.0	0.29	0.0972
230	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0.900	0.810	4.00	20.00	10.17	12.15	8.24	9.90	20.1%	2.5	5.0	0.35	0.0892
231	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	82	0.900	0.810	4.48	22.00	11.34	13.83	9.18	11.03	20.1%	2.5	4.9	0.43	0.0823
232	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	82	0.900	0.810	5.60	28.00	14.12	16.60	11.44	13.83	20.9%	2.5	5.0	0.52	0.0838
233	LEDs	eLumen	LED-SL 33W	- / - / (4.5*)	n.a.	36	5000	82	0.920	0.828	1.21	5.49	4.14	5.05	3.42	4.47	30.5%	3.4	4.5	0.11	0.1242
234	LEDs	eLumen	LED-SL 50WX	- / - / (4.5*)	n.a.	55	5000	82	0.920	0.828	1.57	7.10	5.34	6.78	4.42	5.64	27.6%	3.4	4.5	0.17	0.1025
235	LEDs	eLumen	LED-SL 66W	- / - / (4.5*)	n.a.	69	5000	82	0.920	0.828	2.40	11.00	8.30	10.17	6.87	8.49	23.5%	3.5	4.6	0.22	0.1230
236	LEDs	eLumen	LED-SL 100W	- / - / (4.5*)	n.a.	104	5000	82	0.920	0.828	3.58	17.00	12.35	14.58	10.22	11.84	15.8%	3.4	4.7	0.33	0.1138
237	LEDs	eLumen	LED-SL 150WX	- / - / (4.5*)	n.a.	155	5000	82	0.920	0.828	5.01	23.00	17.42	19.99	14.42	16.76	16.2%	3.5	4.6	0.49	0.1081
238	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	52	6000	70	0.920	0.828	2.46	16.00	6.05	7.74	5.01	6.56	30.9%	2.5	6.5	0.17	0.1262
239	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	65	6000	70	0.920	0.828	3.73	19.00	7.67	9.50	6.35	8.33	31.1%	2.1	5.1	0.21	0.1282
240	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	80	6000	70	0.920	0.828	4.12	27.00	10.10	12.36	8.36	10.65	27.4%	2.5	6.6	0.25	0.1331
241	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	4.92	31.00	11.71	14.06	9.70	11.80	21.7%	2.4	6.3	0.30	0.1242
242	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	115	6000	70	0.920	0.828	5.81	36.00	13.57	16.30	11.24	13.50	20.1%	2.3	6.2	0.37	0.1174
243	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	127	6000	70	0.920	0.828	6.60	38.00	15.01	17.96	12.43	15.18	22.1%	2.3	5.8	0.40	0.1195
244	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0.920	0.828	2.86	15.00	8.09	9.62	6.70	7.92	18.3%	2.8	5.2	0.14	0.1842
245	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0.920	0.828	2.35	15.00	8.26	10.17	6.84	8.49	24.2%	3.5	6.4	0.17	0.1544
246	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	3.56	19.00	11.03	12.94	9.13	10.73	17.5%	3.1	5.3	0.21	0.1651
247	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0.920	0.828	5.00	26.00	14.74	16.76	12.20	14.04	15.0%	2.9	5.2	0.27	0.1633
248	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	110	5000	70	0.920	0.828	5.05	30.00	16.49	18.92	13.66	15.67	14.7%	3.3	5.9	0.35	0.1425

Propuesta de actualización de la NOM-013-ENER-2004

Tabla F2. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₂ y R₃ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]		TCC [K]	S/P	DFL 12 000 h	FPL = DFL x F _e (F _e = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial (Con los 9 puntos) [lx]			Iluminancia mesópica promedio inicial [lx _{mes}]	Iluminancia fotópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx _{mes}]	Diferencia [%]	Uniformidad		DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]
					Lámp	Línea					Mínima	Máxima	Promedio					Prom/Min	Max/Min		
CASO 7: Ancho de calle: 10,5 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 11 m																					
249	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	21	0.875	0.788	1.43	8.16	3.81	3.47	3.00	2.55	-14.9%	2.7	5.7	0.21	0.0290
250	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	2.74	16.00	8.51	7.67	6.70	5.79	-13.6%	3.1	5.8	0.30	0.0463
251	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	3.62	22.00	13.24	11.96	10.43	9.57	-8.2%	3.7	6.1	0.41	0.0556
252	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	250	286	2000	21	0.875	0.788	14.00	44.00	23.88	22.60	18.80	17.75	-5.6%	1.7	3.1	0.68	0.0621
253	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	70	80	2000	21	0.895	0.806	1.96	12.00	5.75	5.32	4.63	3.93	-15.2%	2.9	6.1	0.19	0.0491
254	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	100	114	2000	21	0.895	0.806	3.63	23.00	10.03	9.10	8.08	7.20	-10.9%	2.8	6.3	0.27	0.0632
255	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	150	167	2000	21	0.895	0.806	6.52	36.00	16.54	15.32	13.32	12.44	-6.6%	2.5	5.5	0.40	0.0745
256	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	65	0.545	0.491	2.52	18.00	7.74	8.68	3.79	4.80	26.5%	3.1	7.1	0.29	0.0400
257	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	4.42	32.00	14.17	15.69	6.95	8.14	17.1%	3.2	7.2	0.49	0.0399
258	VAM	American Electric	DuraStar Series 30	R2 / M / FCO	250	290	4000	65	0.545	0.491	7.18	39.00	17.19	18.87	8.43	9.77	15.9%	2.4	5.4	0.69	0.0337
259	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	4.42	32.00	14.17	15.69	8.29	9.77	17.8%	3.2	7.2	0.42	0.0558
260	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	3.47	15.00	7.15	8.14	4.18	4.80	14.8%	2.1	4.3	0.29	0.0400
261	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P9)	60	66	2800	73	0.735	0.662	2.46	13.00	6.85	7.49	4.53	4.88	7.8%	2.8	5.3	0.16	0.0739
262	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P9)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	4.19	20.00	10.55	11.12	6.98	7.49	7.3%	2.5	4.8	0.23	0.0760
263	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P9)	140	154	2860	66	0.735	0.662	6.62	31.00	16.37	17.29	10.83	11.64	7.5%	2.5	4.7	0.37	0.0756
264	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	82	0.900	0.810	1.43	7.07	3.54	4.63	2.86	4.02	40.3%	2.5	4.9	0.15	0.0659
265	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	70	78	5000	82	0.900	0.810	1.47	11.00	4.54	5.83	3.68	4.63	25.8%	3.1	7.5	0.19	0.0594
266	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	82	0.900	0.810	2.29	11.00	5.68	7.01	4.60	5.83	26.6%	2.5	4.8	0.21	0.0648
267	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0.900	0.810	2.70	13.00	6.70	8.17	5.42	7.01	29.2%	2.5	4.8	0.26	0.0632
268	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	82	0.900	0.810	3.02	15.00	7.46	9.32	6.04	7.59	25.7%	2.5	5.0	0.32	0.0566
269	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	82	0.900	0.810	3.77	19.00	9.39	11.60	7.61	9.32	22.5%	2.5	5.0	0.39	0.0565
270	LEDs	eLumen	LED-SL 50WX	- / - / (4.5°)	n.a.	55	5000	82	0.920	0.828	0.78	5.36	3.44	4.47	2.85	3.87	35.8%	4.4	6.9	0.13	0.0704
271	LEDs	eLumen	LED-SL 66W	- / - / (9°)	n.a.	69	5000	82	0.920	0.828	1.84	6.68	5.09	6.21	4.21	5.05	19.9%	2.8	3.6	0.16	0.0732
272	LEDs	eLumen	LED-SL 100W	- / - / (9°)	n.a.	104	5000	82	0.920	0.828	2.79	10.00	7.69	9.05	6.36	7.92	24.4%	2.8	3.6	0.25	0.0762
273	LEDs	eLumen	LED-SL 150WX	- / - / (9°)	n.a.	155	5000	82	0.920	0.828	3.91	14.00	10.81	12.94	8.95	10.73	19.8%	2.8	3.6	0.37	0.0692
274	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	52	6000	70	0.920	0.828	1.43	12.00	4.20	5.35	3.47	4.74	36.5%	2.9	8.4	0.12	0.0912
275	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	65	6000	70	0.920	0.828	2.20	13.00	5.13	6.56	4.25	5.96	40.2%	2.3	5.9	0.15	0.0917
276	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	80	6000	70	0.920	0.828	2.44	18.00	6.61	8.33	5.48	7.15	30.6%	2.7	7.4	0.19	0.0894
277	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	2.94	19.00	7.37	9.50	6.10	7.74	26.9%	2.5	6.5	0.23	0.0815
278	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	115	6000	70	0.920	0.828	3.40	24.00	8.89	11.22	7.36	9.50	29.1%	2.6	7.1	0.27	0.0826
279	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	127	6000	70	0.920	0.828	3.92	25.00	9.77	12.36	8.09	10.08	24.6%	2.5	6.4	0.30	0.0794
280	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-24S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	28	5000	70	0.920	0.828	0.95	6.25	3.49	4.47	2.89	3.87	33.9%	3.7	6.6	0.07	0.1382
281	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0.920	0.828	1.78	9.81	5.51	6.78	4.56	5.64	23.7%	3.1	5.5	0.10	0.1312
282	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0.920	0.828	1.45	10.00	5.79	7.36	4.80	6.21	29.5%	4.0	6.9	0.13	0.1129
283	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	2.12	13.00	7.60	9.05	6.29	7.92	25.9%	3.6	6.1	0.15	0.1218
284	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0.920	0.828	2.93	17.00	10.29	12.39	8.52	10.17	19.4%	3.5	5.8	0.20	0.1183
285	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	110	5000	70	0.920	0.828	3.08	20.00	11.50	13.49	9.52	11.29	18.5%	3.7	6.5	0.26	0.1026
286	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 450 mA	R2 / S / -	n.a.	143	5000	70	0.920	0.828	3.74	24.00	13.64	15.67	11.30	13.49	19.4%	3.6	6.4	0.34	0.0943
287	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 525 mA	R2 / S / -	n.a.	175	5000	70	0.920	0.828	4.99	33.00	19.31	22.13	15.99	18.38	15.0%	3.9	6.6	0.42	0.1050
CASO 8: Ancho de calle: 12 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 11 m																					
288	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	21	0.875	0.788	2.94	8.43	4.91	4.39	3.86	3.47	-10.2%	1.7	2.9	0.24	0.0394
289	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / M / FCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	4.63	12.00	8.91	8.15	7.02	6.26	-10.8%	1.9	2.6	0.35	0.0501
290	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	7.54	22.00	12.60	11.48	9.92	9.10	-8.3%	1.7	2.9	0.48	0.0529
291	VSAP	American Electric	Roadway Series 325	R3 / M / FCO	250	286	2000	21	0.875	0.788	12.00	42.00	25.94	24.55	20.43	19.20	-6.0%	2.2	3.5	0.79	0.0671
292	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	6.68	42.00	21.56	20.17	16.98	15.81	-6.9%	3.2	6.3	0.48	0.0919
293	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	250	286	2000	21	0.875	0.788	13.00	43.00	25.50	24.06	20.08	18.71	-6.8%	2.0	3.3	0.79	0.0654
294	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	250	286	2000	21	0.875	0.788	14.00	46.00	30.63	28.95	24.12	22.60	-6.3%	2.2	3.3	0.79	0.0790
295	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	70	80	2000	21	0.895	0.806	3.15	13.00	7.34	6.73	5.91	5.32	-10.0%	2.3	4.1	0.22	0.0665
296	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	100	114	2000	21	0.895	0.806	5.89	24.00	12.37	11.48	9.97	9.10	-8.7%	2.1	4.1	0.32	0.0798
297	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	150	167	2000	21	0.895	0.806	9.20	37.00	20.33	19.20	16.37	15.32	-6.4%	2.2	4.0	0.46	0.0917

Anexo F. Resultados de las simulaciones para evaluar la DPEA

Tabla F2. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₂ y R₃ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]		TCC [K]	S/P	DFL 12 000 h	FPL = DFL x F _E (F _E = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial (Con los 9 puntos) [lx]			Iluminancia mesópica promedio inicial [lx _{mes}]	Iluminancia fotópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx _{mes}]	Diferencia [%]	Uniformidad		DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]
					Lámp	Línea					Mínima	Máxima	Promedio					Prom/Min	Max/Min		
CASO 8: Ancho de calle: 12 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 11 m																					
298	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	150	167	2000	21	0.895	0.806	10.00	36.00	20.13	18.71	16.21	14.84	-8.5%	2.0	3.6	0.46	0.0889
299	VAM	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	150	175	4000	65	0.545	0.491	5.12	15.00	10.55	11.94	5.18	5.92	14.4%	2.1	2.9	0.49	0.0338
300	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	7.13	26.00	12.99	14.63	6.37	7.58	19.0%	1.8	3.6	0.57	0.0372
301	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / FCO	250	290	4000	65	0.545	0.491	8.77	39.00	16.34	18.34	7.99	9.23	15.5%	1.9	4.4	0.81	0.0318
302	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	6.04	42.00	19.15	20.98	11.20	12.48	11.4%	3.2	7.0	0.49	0.0713
303	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R3 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	6.45	17.00	12.39	14.09	7.25	8.14	12.3%	1.9	2.6	0.49	0.0465
304	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	4.86	16.00	9.09	10.32	5.32	6.48	21.8%	1.9	3.3	0.33	0.0540
305	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P7)	60	66	2800	73	0.735	0.662	2.77	13.00	8.47	9.05	5.60	5.92	5.7%	3.1	4.7	0.18	0.0897
306	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P7)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	4.33	20.00	12.82	13.70	8.48	9.05	6.7%	3.0	4.6	0.27	0.0919
307	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P6)	140	154	2860	66	0.735	0.662	7.97	31.00	19.76	20.87	13.07	13.70	4.8%	2.5	3.9	0.43	0.0890
308	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P8)	140	154	2860	66	0.735	0.662	6.27	32.00	20.52	21.38	13.57	14.21	4.7%	3.3	5.1	0.43	0.0923
309	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	100	111	5000	85	0.900	0.810	2.75	10.00	6.96	8.75	5.64	7.01	24.3%	2.5	3.6	0.31	0.0632
310	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	120	134	5000	85	0.900	0.810	3.31	12.00	8.44	10.46	6.84	8.75	28.0%	2.5	3.6	0.37	0.0653
311	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	150	165	5000	85	0.900	0.810	4.14	15.00	10.50	12.72	8.51	10.46	22.9%	2.5	3.6	0.46	0.0634
312	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	82	0.900	0.810	3.13	12.00	7.10	8.75	5.75	7.01	22.0%	2.3	3.8	0.25	0.0779
313	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0.900	0.810	3.69	14.00	8.33	10.46	6.74	8.17	21.1%	2.3	3.8	0.31	0.0736
314	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	82	0.900	0.810	4.13	16.00	9.31	11.60	7.54	9.32	23.6%	2.3	3.9	0.37	0.0696
315	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	82	0.900	0.810	5.16	20.00	11.70	13.83	9.47	11.60	22.4%	2.3	3.9	0.46	0.0703
316	LEDs	eLumen	LED-SL 66W	- / - / (4.5°)	n.a.	69	5000	82	0.920	0.828	3.65	9.89	7.29	9.05	6.03	7.36	22.0%	2.0	2.7	0.19	0.1067
317	LEDs	eLumen	LED-SL 100W	- / - / (4.5°)	n.a.	104	5000	82	0.920	0.828	5.45	15.00	10.87	12.94	9.00	10.73	19.2%	2.0	2.8	0.29	0.1032
318	LEDs	eLumen	LED-SL 150WX	- / - / (4.5°)	n.a.	155	5000	82	0.920	0.828	7.63	21.00	15.34	17.84	12.71	14.58	14.8%	2.0	2.8	0.43	0.0941
319	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	65	6000	70	0.920	0.828	3.19	13.00	6.57	8.33	5.44	7.15	31.4%	2.1	4.1	0.18	0.1100
320	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	80	6000	70	0.920	0.828	3.66	19.00	8.64	10.65	7.15	8.92	24.7%	2.4	5.2	0.22	0.1115
321	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	4.53	22.00	10.04	12.36	8.31	10.65	28.1%	2.2	4.9	0.26	0.1121
322	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	115	6000	70	0.920	0.828	5.34	25.00	11.47	14.06	9.49	11.80	24.3%	2.1	4.7	0.32	0.1026
323	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	127	6000	70	0.920	0.828	6.20	27.00	12.81	15.74	10.61	12.93	21.9%	2.1	4.4	0.35	0.1018
324	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Wide)	n.a.	157	6000	70	0.920	0.828	7.14	28.00	13.93	16.85	11.53	14.06	21.9%	2.0	3.9	0.44	0.0896
325	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0.920	0.828	2.43	11.00	6.66	7.92	5.52	6.78	22.9%	2.7	4.5	0.12	0.1577
326	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0.920	0.828	2.38	12.00	7.06	8.49	5.85	7.36	25.8%	3.0	5.0	0.15	0.1338
327	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	3.12	16.00	9.44	11.29	7.81	9.62	23.1%	3.0	5.1	0.18	0.1480
328	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0.920	0.828	4.31	22.00	12.69	14.58	10.50	12.39	17.9%	2.9	5.1	0.24	0.1441
329	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	110	5000	70	0.920	0.828	4.95	23.00	13.81	16.22	11.44	13.49	17.9%	2.8	4.6	0.31	0.1226
330	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 450 mA	R2 / S / -	n.a.	143	5000	70	0.920	0.828	5.82	29.00	17.08	19.46	14.14	16.22	14.7%	2.9	5.0	0.40	0.1134
CASO 9: Ancho de calle: 12 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 11 m																					
331	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	2.74	14.00	7.98	7.20	6.29	5.79	-7.9%	2.9	5.1	0.26	0.0463
332	VSAP	American Electric	Roadway Series 125	R2 / M / FCO	250	286	2000	21	0.875	0.788	14.00	48.00	28.81	27.48	22.69	21.14	-6.8%	2.1	3.4	0.60	0.0739
333	VSAP	American Electric	Roadway Series 325	R3 / M / FCO	250	286	2000	21	0.875	0.788	10.00	39.00	20.50	19.20	16.14	14.84	-8.1%	2.1	3.9	0.60	0.0519
334	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	4.60	36.00	15.39	14.36	12.12	11.00	-9.2%	3.3	7.8	0.36	0.0640
335	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	3.62	28.00	13.65	12.44	10.75	9.57	-10.9%	3.8	7.7	0.36	0.0556
336	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	250	286	2000	21	0.875	0.788	6.84	40.00	19.62	18.23	15.45	14.36	-7.1%	2.9	5.8	0.60	0.0502
337	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	250	286	2000	21	0.875	0.788	11.00	40.00	22.31	21.14	17.57	16.29	-7.3%	2.0	3.6	0.60	0.0570
338	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP221	- / - / (P3)	70	80	2000	21	0.895	0.806	2.06	13.00	5.85	5.32	4.71	3.93	-16.5%	2.8	6.3	0.17	0.0491
339	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	100	114	2000	21	0.895	0.806	3.81	23.00	9.88	9.10	7.96	7.20	-9.5%	2.6	6.0	0.24	0.0632
340	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	150	167	2000	21	0.895	0.806	6.60	35.00	15.53	14.36	12.51	11.48	-8.2%	2.4	5.3	0.35	0.0687
341	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	150	167	2000	21	0.895	0.806	6.52	34.00	15.37	14.36	12.38	11.48	-7.3%	2.4	5.2	0.35	0.0687
342	VAM	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	150	175	4000	65	0.545	0.491	2.81	15.00	7.92	9.23	3.89	4.80	23.5%	2.8	5.3	0.36	0.0274
343	VAM	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	3.84	17.00	8.28	9.77	4.06	4.80	18.2%	2.2	4.4	0.43	0.0235
344	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	5.11	24.00	10.09	11.40	4.95	5.92	19.6%	2.0	4.7	0.43	0.0290
345	VAM	American Electric	DuraStar Series 30	R2 / M / FCO	250	290	4000	65	0.545	0.491	5.89	22.00	14.03	15.69	6.88	8.14	18.3%	2.4	3.7	0.60	0.0281
346	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / FCO	250	290	4000	65	0.545	0.491	4.69	38.00	13.16	14.63	6.46	7.58	17.4%	2.8	8.1	0.60	0.0261
347	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	4.42	38.00	14.56	16.22	8.52	9.77	14.7%	3.3	8.6	0.36	0.0558

Tabla F2. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₂ y R₃ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]	Lámp Linea	TCC [k]	S/P	DfL 12 000 h (F ₂ = DfL x F ₂)	FPL = DfL x F ₂ (F ₂ = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial promedio [lx]	Iluminancia fotópica inicial máxima Promedio [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia fotópica promedio a las 12 000 h [lx]	Diferencia [%]	Uniformidad	DPEA [W/m ²] a las 12 000 h	Luxes por unidad de carga [lx/m ²]	CASO 9: Ancho de calle: 12 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 11 m	
																			Altura de montaje: 11 m	Altura de montaje: 11 m
348	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R3 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	2.94	17.00	10.82	12.48	6.33	7.58	19.8%	3.7	5.8	0.433
349	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	3.47	15.00	6.95	8.14	4.06	4.80	18.1%	2.0	4.3	0.400
350	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P10)	60	66	2800	73	0.735	0.662	1.45	11.00	6.27	6.97	4.35	4.9%	7.6	0.14	0.659	
351	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P10)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	2.41	17.00	9.85	10.60	6.51	6.97	7.0%	4.1	7.1	0.21
352	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P9)	140	154	2860	66	0.735	0.662	4.33	28.00	15.65	16.27	10.35	11.12	7.4%	3.6	6.5	0.32
353	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P10)	140	154	2860	66	0.735	0.662	3.80	28.00	15.72	16.27	10.40	11.12	6.9%	4.1	7.4	0.32
354	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	82	0.900	0.810	2.14	11.00	5.31	7.00	4.30	35.7%	2.5	5.1	0.19	
355	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0.900	0.810	2.51	13.00	6.28	8.17	5.08	26.3%	2.5	5.2	0.23	
356	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	82	0.900	0.810	2.81	15.00	7.12	8.75	5.77	31.5%	2.5	5.3	0.28	
357	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	82	0.900	0.810	3.52	19.00	8.86	11.03	7.18	21.9%	2.5	5.4	0.34	
358	LEDs	elumen	LED-SL-66W	- / - / - (9°)	n.a.	69	5000	82	0.920	0.828	1.84	6.32	4.98	6.21	4.13	22.4%	2.7	3.4	0.14	
359	LEDs	elumen	LED-SL-100W	- / - / - (9°)	n.a.	104	5000	82	0.920	0.828	2.79	9.57	7.56	9.05	6.26	26.6%	2.7	3.4	0.22	
360	LEDs	elumen	LED-SL-150WX	- / - / - (9°)	n.a.	155	5000	82	0.920	0.828	3.91	13.00	10.57	12.39	8.76	22.6%	2.7	3.3	0.32	
361	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	65	6000	70	0.920	0.828	2.20	13.00	4.96	6.56	4.10	30.4%	2.3	5.9	0.14	
362	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	80	6000	70	0.920	0.828	2.44	18.00	6.40	8.33	5.30	34.9%	2.6	7.4	0.17	
363	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	2.94	21.00	7.45	9.50	6.17	25.4%	2.5	7.1	0.20	
364	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	115	6000	70	0.920	0.828	3.40	24.00	8.61	10.65	7.13	25.2%	2.5	7.1	0.24	
365	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	127	6000	70	0.920	0.828	3.92	25.00	9.48	11.80	7.85	28.5%	2.4	6.4	0.26	
366	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Wide)	n.a.	157	6000	70	0.920	0.828	4.83	26.00	11.19	13.50	9.27	27.4%	2.3	5.4	0.26	
367	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0.920	0.828	1.45	9.94	5.30	6.78	4.39	28.5%	3.7	6.9	0.11	
368	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	2.12	13.00	7.03	8.49	5.82	26.4%	3.3	6.1	0.14	
369	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0.920	0.828	2.93	17.00	9.45	11.29	7.82	23.0%	3.2	5.8	0.18	
370	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	110	5000	70	0.920	0.828	3.08	20.00	10.48	12.39	8.68	17.2%	3.4	6.5	0.23	
371	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 450 mA	R2 / S / -	n.a.	143	5000	70	0.920	0.828	3.74	24.00	12.50	14.58	10.35	19.7%	3.3	6.4	0.30	
372	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 525mA	R2 / S / -	n.a.	175	5000	70	0.920	0.828	4.99	33.00	17.75	19.99	14.69	14.1%	3.6	6.6	0.36	

Anexo F. Resultados de las simulaciones para evaluar la DPEA

Tabla F3. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₄

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]		TCC [K]	S/P	DFL 12 000 h	FPL = DFL x F _e (F _e = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial (Con los 9 puntos) [lx]			Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx _{mes}]	Diferencia [%]	Uniformidad		DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]	
					Lámp	Línea					Mínima	Máxima	Promedio				Prom/Min	Max/Min			
CASO 1: Ancho de calle: 7,5 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 7,5 m																					
1	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	21	0,875	0,788	2,31	18,00	7,59	6,77	5,98	5,36	-10,4%	3,3	7,8	0,39	0,0609
2	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	21	0,875	0,788	4,09	33,00	16,41	15,41	12,92	12,02	-7,0%	4,0	8,1	0,56	0,0962
3	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / NCO	100	125	2000	21	0,875	0,788	5,17	50,00	19,88	18,80	15,65	14,44	-7,8%	3,8	9,7	0,56	0,1155
4	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R3 / - / NCO	100	125	2000	21	0,875	0,788	3,82	28,00	14,82	13,95	11,67	10,58	-9,3%	3,9	7,3	0,56	0,0846
5	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P1)	70	80	2000	21	0,895	0,806	4,12	32,00	12,57	11,55	10,12	9,15	-9,6%	3,1	7,8	0,36	0,1144
6	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	70	80	2000	21	0,895	0,806	3,46	29,00	11,74	10,58	9,46	8,67	-8,3%	3,4	8,4	0,36	0,1084
7	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P1)	100	114	2000	21	0,895	0,806	6,89	50,00	20,03	18,80	16,13	14,92	-7,5%	2,9	7,3	0,51	0,1309
8	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	100	114	2000	21	0,895	0,806	6,63	49,00	19,71	18,32	15,88	14,92	-6,0%	3,0	7,4	0,51	0,1309
9	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	65	0,545	0,491	4,30	38,00	15,03	16,65	7,37	8,62	16,9%	3,5	8,8	0,53	0,0718
10	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	65	0,650	0,585	6,11	33,00	13,86	15,59	8,11	9,17	13,1%	2,3	5,4	0,53	0,0764
11	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / M / CO	100	120	4000	65	0,650	0,585	6,76	38,00	14,48	16,11	8,47	9,71	14,7%	2,1	5,6	0,53	0,0809
12	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P5X)	60	66	2800	73	0,735	0,662	3,45	27,00	12,24	12,63	8,10	8,50	5,0%	3,5	7,8	0,29	0,1288
13	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P10)	60	66	2800	73	0,735	0,662	3,91	26,00	12,80	13,65	8,47	9,02	6,5%	3,3	6,6	0,29	0,1367
14	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P7)	90	98,5	2750	66	0,735	0,662	6,63	41,00	19,34	20,30	12,80	13,65	6,7%	2,9	6,2	0,44	0,1386
15	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P10)	90	98,5	2750	66	0,735	0,662	6,56	40,00	19,88	20,81	13,15	13,65	3,8%	3,0	6,1	0,44	0,1386
16	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	40	44	5000	85	0,900	0,810	1,50	13,00	4,98	6,35	4,04	5,18	28,4%	3,3	8,7	0,20	0,1177
17	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	82	0,900	0,810	2,66	15,00	6,80	8,66	5,51	6,94	26,0%	2,6	5,6	0,27	0,1138
18	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	70	78	5000	82	0,900	0,810	2,64	24,00	8,84	10,92	7,16	8,66	20,9%	3,3	9,1	0,35	0,1110
19	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	82	0,900	0,810	4,26	24,00	10,87	13,15	8,80	10,92	24,1%	2,6	5,6	0,40	0,1213
20	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0,900	0,810	5,01	29,00	12,90	15,35	10,45	12,59	20,5%	2,6	5,8	0,49	0,1134
21	LEDs	elumen	LED-SL 33W	- / - / (4,5*)	n.a.	36	5000	82	0,920	0,828	0,86	8,85	5,25	6,72	4,35	5,58	28,3%	6,1	10,3	0,16	0,1550
22	LEDs	elumen	LED-SL 50WX	- / - / (4,5*)	n.a.	55	5000	82	0,920	0,828	1,11	11,00	6,75	8,42	5,59	6,72	20,2%	6,1	9,9	0,24	0,1222
23	LEDs	elumen	LED-SL 66W	- / - / (4,5*)	n.a.	69	5000	82	0,920	0,828	1,70	18,00	10,57	12,28	8,75	10,63	21,5%	6,2	10,6	0,31	0,1541
24	LEDs	elumen	LED-SL 100W	- / - / (4,5*)	n.a.	104	5000	82	0,920	0,828	2,53	27,00	15,84	18,23	13,11	15,00	14,4%	6,3	10,7	0,46	0,1442
25	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	52	6000	70	0,920	0,828	2,60	24,00	8,07	9,96	6,68	8,23	23,2%	3,1	9,2	0,23	0,1583
26	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	65	6000	70	0,920	0,828	3,99	28,00	10,02	12,23	8,29	10,54	27,1%	2,5	7,0	0,29	0,1622
27	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	80	6000	70	0,920	0,828	4,36	40,00	13,19	15,58	10,92	13,36	22,3%	3,0	9,2	0,36	0,1670
28	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	95	6000	70	0,920	0,828	5,46	42,00	14,67	17,23	12,15	14,47	19,1%	2,7	7,7	0,42	0,1523
29	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-24S @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	22	5000	70	0,920	0,828	1,36	9,79	5,35	6,72	4,43	5,58	26,1%	3,9	7,2	0,10	0,2536
30	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-24S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	28	5000	70	0,920	0,828	1,63	13,00	6,67	7,85	5,52	6,72	21,7%	4,1	8,0	0,12	0,2400
31	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0,920	0,828	2,97	20,00	10,54	12,28	8,73	10,08	15,5%	3,5	6,7	0,19	0,2344
32	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0,920	0,828	2,57	21,00	11,10	12,83	9,19	10,63	15,6%	4,3	8,2	0,24	0,1933
33	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0,920	0,828	3,65	27,00	14,68	16,62	12,16	13,92	14,5%	4,0	7,4	0,29	0,2142
34	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0,920	0,828	5,12	36,00	19,68	21,96	16,29	18,77	15,2%	3,8	7,0	0,38	0,2183
CASO 2: Ancho de calle: 7,5 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 10 m																					
35	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	21	0,875	0,788	1,34	10,00	4,39	3,96	3,45	3,04	-12,0%	3,3	7,5	0,29	0,0345
36	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / NCO	100	125	2000	21	0,875	0,788	3,02	30,00	11,83	11,07	9,32	8,67	-7,0%	3,9	9,9	0,42	0,0694
37	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	150	172	2000	21	0,875	0,788	5,06	48,00	19,07	17,83	15,01	13,95	-7,1%	3,8	9,5	0,57	0,0811
38	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	70	80	2000	21	0,895	0,806	2,01	15,00	6,96	6,30	5,60	4,89	-12,7%	3,5	7,5	0,27	0,0611
39	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	100	114	2000	21	0,895	0,806	3,66	27,00	11,67	10,58	9,40	8,67	-7,8%	3,2	7,4	0,38	0,0761
40	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	65	0,545	0,491	2,49	20,00	8,47	9,71	4,15	4,77	14,8%	3,4	8,0	0,40	0,0398
41	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	65	0,65	0,585	2,83	19,00	7,06	8,08	4,13	4,77	15,5%	2,5	6,7	0,40	0,0398
42	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	65	0,65	0,585	4,11	29,00	14,52	16,11	8,50	9,71	14,3%	3,5	7,1	0,58	0,0555
43	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P11)	60	66	2800	73	0,735	0,662	3,77	16,00	8,24	8,50	5,45	5,91	8,5%	2,2	4,2	0,22	0,0895
44	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P11)	90	98,5	2750	66	0,735	0,662	6,06	24,00	12,53	13,14	8,29	9,02	8,9%	2,1	4,0	0,33	0,0916
45	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	40	44	5000	85	0,900	0,810	0,93	7,70	3,13	3,98	2,54	3,37	32,9%	3,4	8,3	0,15	0,0766
46	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	82	0,900	0,810	1,63	8,58	4,13	5,18	3,34	4,58	37,0%	2,5	5,3	0,20	0,0751
47	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	70	78	5000	82	0,900	0,810	1,64	14,00	5,62	6,94	4,55	5,76	26,6%	3,4	8,5	0,26	0,0738
48	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	82	0,900	0,810	2,61	14,00	6,61	8,08	5,35	6,94	29,7%	2,5	5,4	0,30	0,0771
49	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0,900	0,810	3,07	16,00	7,82	9,79	6,33	8,08	27,6%	2,5	5,2	0,37	0,0728
50	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	82	0,900	0,810	3,44	18,00	8,69	10,36	7,04	8,66	23,0%	2,5	5,2	0,45	0,0646

Tabla F3. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R_g (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]	TCC [k]	S/P	DPL 12 000 h	FPL = DFL x F _g (F _g = 0,90)	Iluminancia fotográfica promedio (Con los 9 puntos) [lx]	Iluminancia fotográfica inicial promedio [lx _{mes}]	Iluminancia fotográfica a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesopica promedio a las 12 000 h [lx _{mes}]	Diferencia [%]	Uniformidad	DPEA [W/m ²]	Prom/Min Max/Min	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]

CASO 2: Ancho de calle: 7,5 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 10 m																				
51	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	82	0,900	0,810	4,30	23,00	10,97	13,15	8,89	10,92	22,9%	2,6	5,3	0,062
52	LEDs	elumen	LED-SL 33W	- / - / - (4,5°)	n.a.	36	5000	82	0,920	0,828	0,51	4,64	3,05	3,83	3,24	28,5%	6,0	9,1	0,0900	
53	LEDs	elumen	LED-SL 50WX	- / - / - (4,5°)	n.a.	69	5000	82	0,920	0,828	0,66	5,99	3,36	5,00	4,42	35,7%	9,1	9,1	0,804	
54	LEDs	elumen	LED-SL 66W	- / - / - (4,5°)	n.a.	69	5000	82	0,920	0,828	1,00	9,26	6,07	7,29	5,03	22,3%	6,1	9,3	0,891	
55	LEDs	elumen	LED-SL 100W	- / - / - (4,5°)	n.a.	104	5000	82	0,920	0,828	1,11	14,00	9,30	11,18	8,97	16,5%	6,2	9,3	0,863	
56	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	52	6000	70	0,920	0,828	1,50	13,00	4,89	6,48	5,29	30,7%	3,3	8,7	0,1017	
57	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	65	6000	70	0,920	0,828	2,29	14,00	6,07	7,65	5,02	29,0%	2,7	6,1	0,0977	
58	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	80	6000	70	0,920	0,828	2,40	21,00	7,74	9,39	6,41	28,4%	3,2	8,8	0,1029	
59	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	70	0,920	0,828	3,16	22,00	8,85	11,11	7,33	28,1%	2,8	7,0	0,0988	
60	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	115	6000	70	0,920	0,828	3,36	28,00	10,43	12,79	8,63	22,1%	3,1	8,3	0,0917	
61	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-245 @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	28	5000	70	0,920	0,828	0,81	5,55	3,17	3,83	2,62	23,5%	3,9	6,9	0,1473	
62	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-245 @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	22	5000	70	0,920	0,828	1,00	7,50	4,27	5,58	3,54	25,0%	4,3	7,5	0,1579	
63	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0,920	0,828	1,86	12,00	6,70	7,85	5,55	21,2%	3,6	6,5	0,1563	
64	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0,920	0,828	1,56	12,00	6,79	8,42	5,62	19,6%	4,4	7,7	0,1222	
65	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0,920	0,828	2,22	16,00	8,89	10,63	7,36	21,8%	4,0	7,2	0,1380	
66	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0,920	0,828	3,09	21,00	12,00	13,92	9,94	18,0%	3,9	6,8	0,29	0,1364

CASO 3: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 7,5 m																			
67	VSP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	125	2000	21	0,875	0,788	2,28	16,00	7,20	6,30	5,67	-13,8%	3,2	7,0	0,0556
68	VSP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	21	0,875	0,788	4,81	48,00	18,91	14,89	13,95	-6,3%	3,9	10,0	0,116
69	VSP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / NCO	100	125	2000	21	0,875	0,788	4,81	48,00	18,91	14,89	13,95	-6,3%	3,9	10,0	0,116
70	VSP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R3 / - / NCO	100	125	2000	21	0,875	0,788	3,66	29,00	14,59	13,47	11,49	-7,9%	4,0	7,9	0,0846
71	VSP Opt	Philips	AurRoad SRP222	- / - / - (P1)	70	80	2000	21	0,895	0,806	3,76	31,00	11,58	10,58	9,32	-7,0%	3,1	8,2	0,1084
72	VSP Opt	Philips	AurRoad SRP222	- / - / - (P3)	70	80	2000	21	0,895	0,806	3,77	29,00	11,06	10,10	8,91	-8,0%	3,4	8,9	0,1025
73	VSP Opt	Philips	AurRoad SRP222	- / - / - (P3)	100	114	2000	21	0,895	0,806	6,13	49,00	18,59	17,34	14,88	-6,8%	3,0	8,0	0,1224
74	VSP Opt	Philips	AurRoad SRP222	- / - / - (P4)	100	114	2000	21	0,895	0,806	4,11	37,00	14,42	16,11	14,63	-7,9%	3,1	8,2	0,1182
75	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	65	0,545	0,491	4,11	37,00	14,42	16,11	14,63	-7,9%	3,1	8,2	0,1182
76	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	65	0,550	0,585	5,18	30,00	13,02	14,53	13,26	-18,2%	2,5	5,8	0,0718
77	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / M / CO	100	120	4000	65	0,550	0,585	6,14	35,00	13,26	15,06	13,26	-18,2%	2,2	5,7	0,0764
78	VAM PS	GE	M-250R2	R3 / M / CO	100	120	4000	65	0,650	0,585	5,27	33,00	13,07	14,53	13,07	-12,8%	2,5	6,3	0,0718
79	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P7)	60	66	2800	73	0,735	0,662	3,55	26,00	11,69	12,11	7,73	3,2%	3,3	7,3	0,1209
80	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P10)	60	66	2800	73	0,735	0,662	2,56	25,00	11,67	12,11	7,72	3,4%	4,6	9,8	0,1209
81	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P7)	90	98,5	2750	66	0,735	0,662	5,92	40,00	17,90	18,77	11,84	6,6%	3,0	6,8	0,1282
82	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P10)	90	98,5	2750	66	0,735	0,662	4,30	38,00	18,13	18,77	11,99	5,3%	4,2	8,8	0,1282
83	VAM C	Philips	Koffler SGP100	- / - / - (P11)	90	98,5	2750	66	0,735	0,662	3,90	36,00	17,99	18,77	11,90	6,1%	4,6	9,2	0,1282
84	Inducción	Everlast Lighting	Charvoix Cobra	R2 / - / FCO	70	78	5000	85	0,900	0,810	1,72	14,00	6,98	8,66	5,66	22,2%	4,1	8,1	0,0890
85	Inducción	Everlast Lighting	Charvoix Cobra	R2 / - / FCO	80	90	5000	85	0,900	0,810	2,09	17,00	8,37	10,36	6,78	27,7%	4,0	8,1	0,0962
86	Inducción	Everlast Lighting	Charvoix Cobra	R2 / - / FCO	100	111	5000	85	0,900	0,810	2,45	20,00	9,92	12,03	8,03	21,9%	4,0	8,2	0,0882
87	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	40	44	5000	85	0,900	0,810	1,40	13,00	4,69	5,76	3,79	36,5%	3,3	9,3	0,177
88	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	82	0,900	0,810	2,44	14,00	6,46	8,08	5,23	21,3%	2,6	5,7	0,1041
89	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	70	78	5000	82	0,900	0,810	2,47	23,00	8,35	10,36	6,77	28,0%	3,4	9,3	0,1110
90	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	82	0,900	0,810	3,92	23,00	10,31	12,59	8,35	24,0%	2,6	5,9	0,1151
91	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0,900	0,810	4,61	27,00	12,23	14,25	9,91	21,4%	2,7	5,9	0,1084
92	LEDs	elumen	LED-SL 33W	- / - / - (4,5°)	n.a.	36	5000	82	0,920	0,828	0,78	7,78	4,88	6,15	4,04	23,8%	6,3	10,0	0,1389
93	LEDs	elumen	LED-SL 50WX	- / - / - (4,5°)	n.a.	55	5000	82	0,920	0,828	1,00	10,00	6,30	7,85	5,22	17,9%	6,3	10,0	0,1118
94	LEDs	elumen	LED-SL 66W	- / - / - (4,5°)	n.a.	69	5000	82	0,920	0,828	1,53	16,00	9,76	11,73	8,08	17,0%	6,4	10,5	0,1381
95	LEDs	elumen	LED-SL 100W	- / - / - (4,5°)	n.a.	104	5000	82	0,920	0,828	2,29	24,00	14,65	16,62	12,13	14,7%	6,4	10,5	0,1338
96	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	52	6000	70	0,920	0,828	2,43	23,00	7,21	8,82	5,97	28,1%	3,0	9,5	0,1471
97	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	65	6000	70	0,920	0,828	3,79	27,00	9,05	11,11	7,49	25,4%	2,4	7,1	0,1445
98	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	80	6000	70	0,920	0,828	5,13	39,00	11,88	14,47	9,84	24,3%	2,9	9,5	0,1529
99	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	70	0,920	0,828	6,30	44,00	13,93	16,68	11,53	20,6%	2,7	8,6	0,1464
100	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-245 @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	22	5000	70	0,920	0,828	0,81	5,55	3,17	3,83	2,62	23,5%	3,8	9,0	0,1741

Anexo F. Resultados de las simulaciones para evaluar la DPEA

Tabla F3. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₄ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]		TCC [K]	S/P	DFL 12 000 h	FPL = DFL x F _e (F _e = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial (Con los 9 puntos) [lx]			Iluminancia mesópica promedio inicial [lx _{mes}]	Iluminancia fotópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx _{mes}]	Diferencia [%]	Uniformidad		DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]
					Lámp	Línea					Mínima	Máxima	Promedio					Prom/Min	Max/Min		
CASO 3: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 7,5 m																					
101	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-24S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	28	5000	70	0.920	0.828	1.25	13.00	6.00	7.29	4.97	6.15	23.8%	4.8	10.4	0.10	0.2196
102	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0.920	0.828	2.24	20.00	9.30	11.18	7.70	8.97	16.5%	4.2	8.9	0.16	0.2086
103	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0.920	0.828	1.97	21.00	9.89	11.73	8.19	9.53	16.3%	5.0	10.7	0.20	0.1733
104	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	2.81	27.00	13.28	15.54	11.00	12.83	16.6%	4.7	9.6	0.24	0.1974
105	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0.920	0.828	4.01	36.00	17.67	19.83	14.63	16.62	13.6%	4.4	9.0	0.32	0.1933
CASO 4: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 9 m																					
106	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	21	0.875	0.788	2.65	12.00	6.19	5.36	4.87	4.43	-9.1%	2.3	4.5	0.33	0.0503
107	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	4.94	25.00	13.15	12.02	10.36	9.63	-7.0%	2.7	5.1	0.46	0.0770
108	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R3 / M / FCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	4.90	25.00	13.07	12.02	10.29	9.63	-6.4%	2.7	5.1	0.46	0.0770
109	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / NCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	5.46	40.00	17.27	16.37	13.60	12.51	-8.0%	3.2	7.3	0.46	0.1001
110	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	6.72	33.00	20.61	19.29	16.23	14.92	-8.1%	3.1	4.9	0.64	0.0867
111	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P1)	70	80	2000	21	0.895	0.806	4.12	23.00	10.60	9.63	8.54	7.72	-9.6%	2.6	5.6	0.30	0.0965
112	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	70	80	2000	21	0.895	0.806	3.64	20.00	9.71	8.67	7.82	7.25	-7.3%	2.7	5.5	0.30	0.0906
113	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P1)	100	114	2000	21	0.895	0.806	6.40	39.00	17.35	16.37	13.97	12.99	-7.0%	2.7	6.1	0.42	0.1139
114	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	100	114	2000	21	0.895	0.806	6.25	35.00	16.27	15.41	13.10	12.02	-8.3%	2.6	5.6	0.42	0.1054
115	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	150	167	2000	21	0.895	0.806	11.00	49.00	26.06	24.66	20.99	19.78	-5.8%	2.4	4.5	0.62	0.1184
116	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	65	0.545	0.491	4.53	27.00	12.40	14.00	6.08	6.98	14.8%	2.7	6.0	0.44	0.0582
117	VAM	American Electric	DuraStar Series 20	R2 / M / FCO	175	204	4000	65	0.545	0.491	6.47	27.00	15.35	17.17	7.53	8.62	14.5%	2.4	4.2	0.76	0.0423
118	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	9.17	36.00	16.51	18.23	8.10	9.17	13.2%	1.8	3.9	0.76	0.0450
119	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	5.56	33.00	16.11	17.70	7.90	9.17	16.1%	2.9	5.9	0.76	0.0450
120	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	7.97	48.00	23.56	25.53	13.78	15.59	13.1%	3.0	6.0	0.65	0.0891
121	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R3 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	5.56	33.00	16.11	17.70	9.42	10.78	14.4%	2.9	5.9	0.65	0.0616
122	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	5.61	22.00	11.61	12.93	6.79	8.08	18.9%	2.1	3.9	0.44	0.0673
123	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / M / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	5.52	26.00	11.80	13.46	6.90	8.08	17.1%	2.1	4.7	0.44	0.0673
124	VAM PS	GE	M-250R2	R3 / M / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	5.00	25.00	11.26	12.93	6.59	7.53	14.3%	2.3	5.0	0.44	0.0628
125	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P6)	60	66	2800	73	0.735	0.662	3.54	19.00	10.38	11.09	6.86	7.47	8.8%	2.9	5.4	0.24	0.1132
126	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P8)	60	66	2800	73	0.735	0.662	4.38	20.00	10.94	11.60	7.24	7.47	3.2%	2.5	4.6	0.24	0.1132
127	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P5X)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	5.14	28.00	15.72	16.22	10.40	11.09	6.6%	3.1	5.4	0.36	0.1126
128	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P7)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	5.98	30.00	16.55	17.24	10.95	11.60	5.9%	2.8	5.0	0.36	0.1178
129	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P7)	140	154	2860	66	0.735	0.662	9.44	47.00	25.97	26.91	17.18	17.75	3.3%	2.8	5.0	0.57	0.1153
130	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P10)	140	154	2860	66	0.735	0.662	8.90	47.00	26.99	27.92	17.86	18.77	5.1%	3.0	5.3	0.57	0.1219
131	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	80	90	5000	85	0.900	0.810	2.92	12.00	7.59	9.22	6.15	7.51	22.2%	2.6	4.1	0.33	0.0834
132	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	100	111	5000	85	0.900	0.810	3.42	14.00	8.75	10.36	7.08	8.66	22.2%	2.6	4.1	0.41	0.0780
133	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	120	134	5000	85	0.900	0.810	4.12	17.00	10.92	13.15	8.84	10.92	23.5%	2.7	4.1	0.50	0.0815
134	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	150	165	5000	85	0.900	0.810	5.16	21.00	13.50	15.90	10.94	13.15	20.2%	2.6	4.1	0.61	0.0797
135	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	85	0.900	0.810	2.36	11.00	5.72	6.94	4.64	5.76	24.2%	2.4	4.7	0.23	0.0944
136	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	82	0.900	0.810	3.78	17.00	9.13	10.92	7.40	9.22	24.6%	2.4	4.5	0.33	0.1024
137	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0.900	0.810	4.45	20.00	10.74	12.59	8.70	10.36	19.1%	2.4	4.5	0.41	0.0933
138	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	82	0.900	0.810	4.98	22.00	12.19	14.25	9.87	12.03	21.8%	2.4	4.4	0.50	0.0898
139	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	82	0.900	0.810	6.23	28.00	15.11	17.53	12.24	14.25	16.4%	2.4	4.5	0.61	0.0864
140	LEDs	eLumen	LED-SL 33W	- / - / (4.5*)	n.a.	36	5000	82	0.920	0.828	1.21	6.27	4.34	5.58	3.59	4.42	23.1%	3.6	5.2	0.13	0.1228
141	LEDs	eLumen	LED-SL 50WX	- / - / (4.5*)	n.a.	55	5000	82	0.920	0.828	1.57	8.09	5.60	6.72	4.64	5.58	20.4%	3.6	5.2	0.20	0.1015
142	LEDs	eLumen	LED-SL 66W	- / - / (4.5*)	n.a.	69	5000	82	0.920	0.828	2.40	13.00	8.70	10.08	7.20	8.42	16.9%	3.6	5.4	0.26	0.1220
143	LEDs	eLumen	LED-SL 100W	- / - / (4.5*)	n.a.	104	5000	82	0.920	0.828	3.58	19.00	12.79	15.00	10.59	12.28	16.0%	3.6	5.3	0.39	0.1181
144	LEDs	eLumen	LED-SL 100WX	- / - / (4.5*)	n.a.	105	5000	82	0.920	0.828	3.09	16.00	11.09	12.83	9.19	10.63	15.7%	3.6	5.2	0.39	0.1012
145	LEDs	eLumen	LED-SL 150WX	- / - / (4.5*)	n.a.	155	5000	82	0.920	0.828	5.01	26.00	18.35	20.90	15.20	17.16	12.9%	3.7	5.2	0.57	0.1107
146	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	52	6000	70	0.920	0.828	2.46	18.00	6.55	8.23	5.43	7.07	30.3%	2.7	7.3	0.19	0.1360
147	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	65	6000	70	0.920	0.828	3.73	19.00	8.02	9.96	6.64	8.23	24.0%	2.1	5.1	0.24	0.1266
148	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	80	6000	70	0.920	0.828	4.12	27.00	10.40	12.79	8.61	10.54	22.4%	2.5	6.6	0.30	0.1318
149	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	4.92	29.00	11.88	14.47	9.83	12.23	24.4%	2.4	5.9	0.35	0.1287
150	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	115	6000	70	0.920	0.828	5.81	36.00	14.12	16.68	11.69	13.91	19.0%	2.4	6.2	0.43	0.1210

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]	Lamp Linea	TCC [K]	S/P	DfL 12 000 h	FPL = DFL x F _r (F _r = 0,90)	Iluminancia fotopica inicial [lx]	Iluminancia fotopica promedio [lx]	Iluminancia mesópica promedio [lx]	Iluminancia mesópica inicial [lx]	Iluminancia a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia a las 12 000 h [lx]	Diferencia [%]	Uniformidad	DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx/m ²]	CASO 4: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 9 m		
																						Altura de montaje: 9 m	Diferencia [%]	
151	LEDs	GE	EvoIve	- / - / - (Short)	127	6000	70	0.920	0.828	6.60	37.00	15.44	18.33	12.78	15.58	21.9%	2.3	5.6	0.47	0.1227	0.1993	0.1560		
152	LEDs	SAT-245 @ 350 ma	R2 / S / -	n.a.	28	5000	70	0.920	0.828	1.57	9.59	5.65	6.72	4.68	5.58	19.3%	3.6	6.1	0.10	0.1993	0.1560			
153	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0.920	2.86	15.00	8.75	10.08	7.24	8.42	16.2%	3.1	3.1	0.16	0.1958	0.1560			
154	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 350 ma	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0.920	2.35	16.00	9.34	11.18	7.73	8.97	16.0%	4.0	6.8	0.20	0.1631	0.1560			
155	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	3.56	20.00	12.49	14.46	10.34	12.28	18.8%	3.5	5.6	0.24	0.1889	0.1560			
156	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	110	5000	70	0.920	5.01	27.00	16.58	18.77	13.73	15.54	13.2%	3.3	5.4	0.32	0.1807	0.1560			
157	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	116	5000	70	0.920	5.05	31.00	18.41	18.41	20.90	17.16	12.6%	3.6	6.1	0.41	0.1560	0.1560			
158	V5AP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / M / FCO	100	2000	21	0.875	0.788	3.12	11.00	7.06	6.30	4.89	5.56	-12.0%	2.3	3.5	0.35	0.0391	0.0391			
159	V5AP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	21	0.875	2.74	17.00	8.73	7.72	6.87	6.30	-8.3%	3.2	6.2	0.35	0.0504	0.0504			
160	V5AP	American Electric	Roadway Series 115	R3 / M / FCO	100	125	2000	21	0.875	2.71	17.00	8.64	7.72	6.80	6.30	-7.4%	3.2	6.3	0.35	0.0504	0.0504			
161	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / NCO	100	125	2000	21	0.875	3.16	25.00	10.63	9.63	8.37	7.72	-7.8%	3.4	7.9	0.35	0.0618	0.0618			
162	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R3 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	2.33	17.00	7.29	6.77	5.74	4.89	-14.8%	3.1	7.3	0.35	0.0391	0.0391			
163	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	5.45	40.00	17.30	16.37	13.63	12.51	-8.2%	3.2	7.3	0.48	0.0727	0.0727			
164	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R3 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	3.62	26.00	12.94	12.02	10.19	9.15	-10.2%	3.6	7.2	0.48	0.0532	0.0532			
165	V5AP	Cooper Lighting	Streetworks VVF	R2 / - / CO	250	286	2000	21	0.875	16.00	48.00	25.44	24.17	20.03	18.80	-6.2%	1.6	3.0	0.79	0.0657	0.0657			
166	V5AP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P1)	70	80	2000	21	0.895	0.806	2.41	15.00	6.82	6.30	4.89	-10.9%	2.8	6.2	0.22	0.0611	0.0611			
167	V5AP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P1)	100	114	2000	21	0.895	0.806	5.08	26.00	11.25	10.10	8.20	-9.5%	2.2	5.1	0.32	0.0719	0.0719			
168	V5AP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / - (P1)	150	167	2000	21	0.895	0.806	8.40	40.00	18.55	17.34	13.95	-5.6%	2.2	4.8	0.48	0.0835	0.0835			
169	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	65	0.545	0.491	17.00	7.62	3.74	4.20	12.4%	3.0	6.7	0.33	0.0350	0.0350				
170	VAM	American Electric	DuraStar Series 30	R2 / M / FCO	250	290	4000	65	0.545	0.491	23.00	14.99	16.11	7.06	8.08	14.4%	2.4	3.9	0.81	0.0279	0.0279			
171	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R2 / - / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	24.00	13.78	15.59	6.76	8.08	17.6%	3.1	3.1	0.57	0.0396	0.0396			
172	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R3 / - / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	24.00	13.78	15.59	6.76	8.08	17.6%	3.1	3.1	0.57	0.0396	0.0396			
173	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	4.42	24.00	13.78	15.59	9.17	13.3%	3.1	5.4	0.49	0.0524	0.0524			
174	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / M / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	3.32	19.00	7.98	4.67	5.32	13.0%	2.4	5.7	0.33	0.0443	0.0443			
175	VAM PS	GE	M-250R2	R3 / M / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	2.84	18.00	7.45	4.36	5.32	22.1%	2.6	6.3	0.33	0.0443	0.0443			
176	VAM PS	GE	M-250A2	R2 / S / CO	250	220	4000	65	0.650	0.585	8.08	32.00	14.42	16.11	8.44	15.1%	1.8	4.0	0.33	0.0809	0.0809			
177	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P8)	140	154	2750	66	0.735	0.662	13.00	7.22	7.98	4.84	5.38	11.1%	2.2	3.9	0.18	0.0815	0.0815			
178	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P9)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	20.00	10.91	11.60	7.22	7.47	3.5%	2.6	4.7	0.27	0.0758	0.0758			
179	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P11)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	20.00	11.29	12.11	7.47	7.98	6.8%	2.3	4.1	0.27	0.0810	0.0810			
180	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P8)	140	154	2750	66	0.735	0.662	31.00	17.15	17.75	11.37	12.11	6.5%	2.5	4.6	0.43	0.0786	0.0786			
181	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P10)	140	154	2860	66	0.735	0.662	32.00	17.83	18.77	11.79	12.63	7.1%	2.4	4.2	0.43	0.0820	0.0820			
182	Inducción	Everast Lighting	Charlovix Cobra	R2 / - / FCO	100	111	5000	85	0.900	0.810	2.23	9.68	5.90	7.51	6.35	32.3%	2.6	4.3	0.31	0.0572	0.0572			
183	Inducción	Everast Lighting	Charlovix Cobra	R2 / - / FCO	120	134	5000	85	0.900	0.810	2.69	12.00	7.13	6.86	7.13	30.1%	2.7	4.5	0.37	0.0560	0.0560			
184	Inducción	Everast Lighting	Charlovix Cobra	R2 / - / FCO	150	165	5000	85	0.900	0.810	3.37	15.00	8.97	10.92	9.22	27.0%	2.7	4.5	0.46	0.0559	0.0559			
185	Inducción	Everast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	61	5000	85	0.900	0.810	1.49	7.06	3.71	4.58	3.01	3.88	32.4%	2.5	4.7	0.17	0.0652	0.0652			
186	Inducción	Everast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	85	0.900	0.810	2.81	11.00	6.05	4.90	6.35	29.6%	2.5	4.6	0.25	0.0706	0.0706			
187	Inducción	Everast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	85	0.900	0.810	2.81	13.00	6.98	6.64	6.94	22.7%	2.5	4.6	0.31	0.0625	0.0625			
188	Inducción	Everast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	82	0.900	0.810	3.15	15.00	7.90	9.79	8.08	26.3%	2.5	4.8	0.37	0.0603	0.0603			
190	LEDs	eLumen	LED-SL 50WX	- / - / - (4.5*)	n.a.	55	5000	82	0.920	0.828	5.08	3.49	4.42	2.89	3.83	32.7%	2.5	4.5	0.15	0.0696	0.0696			
191	LEDs	eLumen	LED-SL 66WX	- / - / - (4.5*)	n.a.	69	5000	82	0.920	0.828	1.20	7.87	5.37	6.72	5.58	25.6%	4.5	6.6	0.19	0.0809	0.0809			
192	LEDs	eLumen	LED-SL 100WX	- / - / - (4.5*)	n.a.	104	5000	82	0.920	0.828	1.80	12.00	8.12	9.37	8.42	23.3%	4.6	6.7	0.29	0.0810	0.0810			
193	LEDs	eLumen	LED-SL 150WX	- / - / - (4.5*)	n.a.	155	5000	82	0.920	0.828	2.52	17.00	11.32	13.37	11.18	19.3%	4.5	6.7	0.43	0.0721	0.0721			
194	LEDs	GE	EvoIve	- / - / - (Short)	n.a.	52	6000	70	0.920	0.828	1.44	10.00	4.09	5.29	4.68	38.4%	2.8	6.9	0.14	0.0900	0.0900			
195	LEDs	GE	EvoIve	- / - / - (Short)	n.a.	60	6000	70	0.920	0.828	2.20	11.00	5.06	6.48	5.29	26.3%	2.3	5.0	0.18	0.0814	0.0814			
196	LEDs	GE	EvoIve	- / - / - (Short)	n.a.	85	6000	70	0.920	0.828	2.44	18.00	6.87	8.82	7.07	24.3%	2.8	7.4	0.22	0.0884	0.0884			
197	LEDs	GE	EvoIve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	2.94	18.00	7.58	9.39	8.23	31.1%	2.6	6.1	0.26	0.0866	0.0866			
198	LEDs	GE	EvoIve	- / - / - (Short)	n.a.	117	6000	70	0.920	0.828	3.40	23.00	9.12	11.11	9.99	24.4%	2.7	6.8	0.32	0.0817	0.0817			
199	LEDs	GE	EvoIve	- / - / - (Short)	n.a.	125	6000	70	0.920	0.828	3.92	23.00	9.72	11.67	9.96	23.3%	2.5	5.6	0.35	0.0784	0.0784			
200	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-485 @ 280 ma	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0.920	0.828	1.78	10.00	5.92	7.29	4.90	25.4%	3.3	5.6	0.12	0.1430	0.1430			

Tabla F3. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₄ (continuación)

Anexo F. Resultados de las simulaciones para evaluar la DPEA

Tabla F3. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₄ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]		TCC [K]	S/P	DFL 12 000 h	FPL = DFL x F _e (F _e = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial (Con los 9 puntos) [lx]			Iluminancia mesópica promedio inicial [lx _{mes}]	Iluminancia fotópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx _{mes}]	Diferencia [%]	Uniformidad		DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]
					Lámp	Línea					Mínima	Máxima	Promedio					Prom/Min	Max/Min		
CASO 5: Ancho de calle: 9 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 11 m																					
201	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0.920	0.828	1.49	10.00	6.29	7.85	5.21	6.15	18.0%	4.2	6.7	0.15	0.1118
202	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	2.12	13.00	8.21	9.53	6.80	8.42	23.8%	3.9	6.1	0.18	0.1295
203	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0.920	0.828	2.93	18.00	11.26	13.37	9.33	11.18	19.9%	3.8	6.1	0.24	0.1300
204	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	110	5000	70	0.920	0.828	3.16	20.00	12.36	14.46	10.23	11.73	14.7%	3.9	6.3	0.31	0.1066
205	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 450 mA	R2 / S / -	n.a.	143	5000	70	0.920	0.828	3.84	25.00	15.32	17.70	12.68	14.46	14.0%	4.0	6.5	0.40	0.1011
CASO 6: Ancho de calle: 10,5 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 9 m																					
206	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	21	0.875	0.788	2.65	12.00	5.94	5.36	4.68	3.96	-15.3%	2.2	4.5	0.28	0.0450
207	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	4.94	22.00	12.27	11.55	9.66	8.67	-10.2%	2.5	4.5	0.40	0.0694
208	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R3 / M / FCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	4.89	21.00	12.04	11.07	9.48	8.67	-8.6%	2.5	4.3	0.40	0.0694
209	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	6.80	30.00	15.24	13.95	12.00	11.07	-7.8%	2.2	4.4	0.55	0.0644
210	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVG	R3 / - / NCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	4.20	21.00	11.84	11.07	9.32	8.67	-7.0%	2.8	5.0	0.40	0.0694
211	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	6.86	49.00	24.18	22.71	19.04	17.83	-6.4%	3.5	7.1	0.55	0.1037
212	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	6.72	43.00	21.48	20.26	16.92	15.89	-6.1%	3.2	6.4	0.55	0.0924
213	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	70	80	2000	21	0.895	0.806	3.49	19.00	9.07	8.20	7.30	6.77	-7.3%	2.6	5.4	0.25	0.0846
214	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	100	114	2000	21	0.895	0.806	6.25	33.00	15.11	13.95	12.17	11.07	-9.1%	2.4	5.3	0.36	0.0971
215	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	150	167	2000	21	0.895	0.806	11.00	48.00	24.31	23.19	19.58	18.32	-6.5%	2.2	4.4	0.53	0.1097
216	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	65	0.545	0.491	4.37	26.00	12.35	14.00	6.06	6.98	15.2%	2.8	5.9	0.38	0.0582
217	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	9.17	36.00	16.01	17.70	7.85	9.17	16.8%	1.7	3.9	0.65	0.0450
218	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	7.97	42.00	22.06	23.97	10.82	12.39	14.5%	2.8	5.3	0.65	0.0607
219	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	5.56	25.00	16.35	18.23	8.02	9.17	14.4%	2.9	4.5	0.65	0.0450
220	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	7.97	48.00	22.81	25.01	13.34	15.06	12.9%	2.9	6.0	0.56	0.0861
221	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R3 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	5.56	45.00	18.85	17.08	11.03	12.39	12.4%	3.4	8.1	0.56	0.0708
222	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	5.61	22.00	10.98	12.39	6.42	7.53	17.3%	2.0	3.9	0.38	0.0628
223	VAM PS	GE	M-250R2	R3 / M / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	5.00	24.00	10.61	11.86	6.20	6.98	12.5%	2.1	4.8	0.38	0.0582
224	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P6)	60	66	2800	73	0.735	0.662	3.37	18.00	9.74	10.05	6.44	6.94	7.7%	2.9	5.3	0.21	0.1052
225	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P6)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	5.34	28.00	14.99	15.71	9.92	10.57	6.6%	2.8	5.2	0.31	0.1073
226	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P6)	140	154	2860	66	0.735	0.662	8.43	44.00	24.01	24.88	15.89	16.73	5.3%	2.8	5.2	0.49	0.1086
227	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	40	44	5000	82	0.900	0.810	1.25	9.32	3.82	5.18	3.09	3.98	28.8%	3.1	7.5	0.14	0.0905
228	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	82	0.900	0.810	2.12	11.00	5.38	6.94	4.35	5.76	32.3%	2.5	5.2	0.19	0.0944
229	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	82	0.900	0.810	3.40	17.00	8.64	10.36	7.00	8.66	23.8%	2.5	5.0	0.29	0.0962
230	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0.900	0.810	4.00	20.00	10.17	12.03	8.24	9.79	18.8%	2.5	5.0	0.35	0.0882
231	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	82	0.900	0.810	4.48	22.00	11.34	13.70	9.18	10.92	18.9%	2.5	4.9	0.43	0.0815
232	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	82	0.900	0.810	5.60	28.00	14.12	16.44	11.44	13.70	19.8%	2.5	5.0	0.52	0.0830
233	LEDs	eLumen	LED-SL 33W	- / - / (4.5°)	n.a.	36	5000	82	0.920	0.828	1.21	5.49	4.14	5.00	3.42	4.42	29.1%	3.4	4.5	0.11	0.1228
234	LEDs	eLumen	LED-SL 50WX	- / - / (4.5°)	n.a.	55	5000	82	0.920	0.828	1.57	7.10	5.34	6.72	4.42	5.58	26.2%	3.4	4.5	0.17	0.1015
235	LEDs	eLumen	LED-SL 66W	- / - / (4.5°)	n.a.	69	5000	82	0.920	0.828	2.40	11.00	8.30	10.08	6.87	8.42	22.5%	3.5	4.6	0.22	0.1220
236	LEDs	eLumen	LED-SL 100W	- / - / (4.5°)	n.a.	104	5000	82	0.920	0.828	3.58	17.00	12.35	14.46	10.22	11.73	14.7%	3.4	4.7	0.33	0.1128
237	LEDs	eLumen	LED-SL 150WX	- / - / (4.5°)	n.a.	155	5000	82	0.920	0.828	5.01	23.00	17.42	19.83	14.42	16.62	15.3%	3.5	4.6	0.49	0.1072
238	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	52	6000	70	0.920	0.828	2.46	16.00	6.05	7.65	5.01	6.48	29.3%	2.5	6.5	0.17	0.1246
239	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	65	6000	70	0.920	0.828	3.73	19.00	7.67	9.39	6.35	8.23	29.5%	2.1	5.1	0.21	0.1266
240	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	80	6000	70	0.920	0.828	4.12	27.00	10.10	12.23	8.36	10.54	26.1%	2.5	6.6	0.25	0.1318
241	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	4.92	31.00	11.71	13.91	9.70	11.67	20.3%	2.4	6.3	0.30	0.1228
242	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	115	6000	70	0.920	0.828	5.81	36.00	13.57	16.13	11.24	13.36	18.9%	2.3	6.2	0.37	0.1162
243	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	127	6000	70	0.920	0.828	6.60	38.00	15.01	17.78	12.43	15.02	20.8%	2.3	5.8	0.40	0.1183
244	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0.920	0.828	2.86	15.00	8.09	9.53	6.70	7.85	17.2%	2.8	5.2	0.14	0.1826
245	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0.920	0.828	2.35	15.00	8.26	10.08	6.84	8.42	23.1%	3.5	6.4	0.17	0.1531
246	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	3.56	19.00	11.03	12.83	9.13	10.63	16.4%	3.1	5.3	0.21	0.1635
247	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0.920	0.828	5.00	26.00	14.74	16.62	12.20	13.92	14.1%	2.9	5.2	0.27	0.1619
248	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	110	5000	70	0.920	0.828	5.05	30.00	16.49	18.77	13.66	15.54	13.8%	3.3	5.9	0.35	0.1413

Tabla F3. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₄ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]	Lámp Linea	TCC [k]	S/P	DPL 12 000 h (F ₁ = 0,90)	FPL = DFL x F ₁ (F ₁ = 0,90)	Iluminancia fotopéica inicial (Con los 9 puntos) [lx]	Iluminancia fotopéica promedio [lx]	Iluminancia mesopéica [lx]	Iluminancia fotopéica inicial [lx]	Iluminancia fotopéica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesopéica a las 12 000 h [lx]	Iluminancia promedio a las 12 000 h [lx]	Diferencia [%]	Uniformidad	DPA [W/m ²]	Lúmenes por unidad de carga a las 12 000 h [lxh/m ²]	CASO 7: Ancho de calle: 10,5 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 11 m									
																						R3 / M / CO	R2 / S / FCO	R2 / M / FCO	R3 / M / CO	R2 / S / FCO	R2 / M / FCO	R3 / M / CO	R2 / S / FCO	R2 / M / FCO	R3 / M / CO
249	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	21	0.875	0.788	1.43	8.16	3.81	3.50	3.00	2.58	13.9%	2.7	5.7	0.21	0.0293										
250	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	2.74	16.00	8.51	7.72	6.70	5.83	-13.0%	3.1	5.8	0.30	0.0466										
251	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	3.62	22.00	13.24	12.02	10.43	9.63	-7.7%	3.7	6.1	0.41	0.0560										
252	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	250	286	2000	21	0.875	0.788	14.00	44.00	23.88	22.71	18.80	17.83	-5.2%	1.7	3.1	0.68	0.0623										
253	VSAP Opt	Phillips	Alroad SRP222	- / - / (P4)	70	80	2000	21	0.895	0.806	1.96	12.00	5.75	5.36	4.63	3.96	-14.5%	2.9	6.1	0.19	0.0495										
254	VSAP Opt	Phillips	Alroad SRP222	- / - / (P4)	100	114	2000	21	0.895	0.806	3.63	23.00	10.03	9.15	8.08	7.25	-10.3%	2.8	6.3	0.27	0.0636										
255	VSAP Opt	Phillips	Alroad SRP222	- / - / (P4)	150	167	2000	21	0.895	0.806	6.52	36.00	16.54	15.41	13.32	12.51	-6.1%	2.5	5.5	0.40	0.0749										
256	VAM	American Electric	Corvus Series CVM	R2 / M / NCO	100	120	4000	65	0.545	0.491	2.52	18.00	7.74	8.62	3.79	4.77	25.7%	3.1	7.1	0.29	0.0398										
257	VAM	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	4.42	32.00	14.17	15.59	15.75	8.08	16.2%	3.2	7.2	0.49	0.0396										
258	VAM	American Electric	DuraStar Series 30	R2 / M / FCO	250	290	4000	65	0.545	0.491	7.18	39.00	17.19	18.59	18.75	9.71	15.2%	2.4	5.4	0.69	0.0335										
259	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	4.42	32.00	14.17	15.59	18.75	9.71	17.1%	3.2	7.2	0.42	0.0555										
260	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	73	0.650	0.585	3.47	15.00	7.15	8.08	4.18	4.77	14.0%	2.1	4.3	0.29	0.0398										
261	VAM C	Phillips	Koffer SGP100	- / - / (P9)	60	66	2800	66	0.735	0.662	2.46	13.00	6.85	7.47	4.53	4.86	7.3%	2.8	5.3	0.16	0.0736										
262	VAM C	Phillips	Koffer SGP100	- / - / (P9)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	4.19	20.00	10.55	11.09	6.98	7.47	7.0%	2.5	4.8	0.23	0.0758										
263	VAM C	Phillips	Koffer SGP100	- / - / (P9)	140	154	2860	66	0.735	0.662	6.62	31.00	16.37	17.24	10.83	11.60	7.1%	2.5	4.7	0.37	0.0753										
264	Inducción	Everast Lightng	Wellworth Cobra	R3 / - / -	55	61	5000	82	0.900	0.810	1.43	7.07	3.54	4.58	2.86	3.98	38.9%	2.5	4.9	0.15	0.0652										
265	Inducción	Everast Lightng	Wellworth Cobra	R3 / - / -	70	78	5000	82	0.900	0.810	1.47	11.00	4.54	5.76	3.68	4.58	24.4%	3.1	7.5	0.19	0.0587										
266	Inducción	Everast Lightng	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	82	0.900	0.810	2.29	11.00	5.68	6.94	5.26	5.76	25.1%	2.5	4.8	0.21	0.0640										
267	Inducción	Everast Lightng	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0.900	0.810	3.02	13.00	6.70	8.08	5.42	6.94	27.9%	2.5	4.8	0.26	0.0625										
268	Inducción	Everast Lightng	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	82	0.900	0.810	3.70	15.00	7.46	9.22	6.04	7.51	24.4%	2.5	5.0	0.32	0.0560										
269	Inducción	Everast Lightng	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	82	0.900	0.810	3.77	19.00	9.39	11.48	7.61	9.22	34.4%	4.4	5.0	0.59	0.0559										
270	LEDs	elumen	LED-SL50WX	- / - / (4.5')	n.a.	55	5000	82	0.920	0.828	0.78	5.36	3.44	4.42	2.85	3.83	34.4%	4.4	6.9	0.13	0.0696										
271	LEDs	elumen	LED-SL66W	- / - / (9')	n.a.	69	5000	82	0.920	0.828	1.84	6.68	5.09	6.15	4.21	5.00	18.8%	2.8	3.6	0.16	0.0725										
272	LEDs	elumen	LED-SL100W	- / - / (9')	n.a.	104	5000	82	0.920	0.828	2.79	10.00	7.69	8.97	6.36	7.85	23.3%	2.8	3.6	0.25	0.0755										
273	LEDs	elumen	LED-SL150WX	- / - / (9')	n.a.	155	5000	82	0.920	0.828	3.91	14.00	10.81	12.83	8.95	10.63	18.7%	2.8	3.6	0.37	0.0686										
274	LEDs	GE	EvoIve	- / - / (Short)	n.a.	52	6000	70	0.920	0.828	1.43	12.00	4.70	5.29	3.47	4.68	34.7%	2.9	8.4	0.12	0.0900										
275	LEDs	GE	EvoIve	- / - / (Short)	n.a.	65	6000	70	0.920	0.828	2.20	13.00	5.13	6.48	4.85	5.89	38.6%	2.3	5.9	0.15	0.0906										
276	LEDs	GE	EvoIve	- / - / (Short)	n.a.	80	6000	70	0.920	0.828	2.44	18.00	6.61	8.23	5.48	7.07	29.1%	2.7	7.4	0.19	0.0884										
277	LEDs	GE	EvoIve	- / - / (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	2.94	19.00	7.37	9.39	6.10	7.65	25.4%	2.5	6.5	0.23	0.0805										
278	LEDs	GE	EvoIve	- / - / (Short)	n.a.	117	6000	70	0.920	0.828	3.40	24.00	8.89	11.11	7.36	9.99	27.6%	2.6	7.1	0.27	0.0817										
279	LEDs	GE	EvoIve	- / - / (Short)	n.a.	125	6000	70	0.920	0.828	3.92	25.00	9.77	12.23	8.09	9.96	23.1%	2.5	6.4	0.30	0.0784										
280	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-245 @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	28	5000	70	0.920	0.828	0.95	6.25	3.49	4.42	2.89	3.83	32.5%	3.7	6.6	0.07	0.1368										
281	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-485 @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0.920	0.828	1.78	9.81	5.51	6.72	4.56	5.58	22.3%	3.1	5.5	0.10	0.1298										
282	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-485 @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	1.45	10.00	5.79	7.29	4.80	6.15	28.2%	4.0	6.9	0.13	0.1118										
283	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	2.12	13.00	7.60	8.97	6.29	7.85	24.7%	3.6	6.1	0.15	0.1208										
284	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0.920	0.828	2.93	17.00	10.29	12.28	8.52	10.08	18.3%	3.5	5.8	0.20	0.1172										
285	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-96M @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	143	5000	70	0.920	0.828	3.08	20.00	11.50	13.37	9.52	11.18	17.4%	3.7	6.5	0.26	0.1016										
286	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-96M @ 450 mA	R2 / S / -	n.a.	143	5000	70	0.920	0.828	3.74	24.00	13.64	15.54	11.30	13.37	18.3%	3.6	6.4	0.34	0.0935										
287	LEDs	LED Roadway Lightng	SAT-96M @ 525 mA	R2 / S / -	n.a.	175	5000	70	0.920	0.828	4.99	33.00	19.31	21.96	15.99	18.23	14.0%	3.9	6.6	0.42	0.1042										
288	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	70	88	2000	21	0.875	0.788	2.94	8.43	4.91	4.43	3.86	3.50	-9.4%	1.7	2.9	0.24	0.0398										
289	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R3 / M / FCO	100	117	2000	21	0.875	0.788	4.63	12.00	8.91	8.20	7.02	6.30	-10.2%	1.9	2.6	0.35	0.0504										
290	VSAP	American Electric	Roadway Series 315	R3 / M / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	7.54	22.00	11.55	9.92	9.22	9.15	-7.7%	1.7	2.9	0.48	0.0352										
291	VSAP	American Electric	Roadway Series 325	R3 / M / FCO	250	286	2000	21	0.875	0.788	12.00	42.00	25.94	24.66	20.43	19.29	-5.6%	2.2	3.5	0.79	0.0674										
292	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	178	2000	21	0.875	0.788	7.64	29.00	16.83	15.89	13.26	12.51	-5.5%	2.2	3.8	0.48	0.0727										
293	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	250	286	2000	21	0.875	0.788	13.00	43.00	25.50	24.17	20.08	18.80	-6.1%	2.0	3.3	0.79	0.0657										
294	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	250	286	2000	21	0.875	0.788	14.00	46.00	30.63	29.08	24.12	22.71	-5.8%	2.2	3.3	0.79	0.0794										
295	VSAP Opt	Phillips	Alroad SRP222	- / - / (P4)	70	80	2000	21	0.895	0.806	3.15	13.00	7.4	6.77	5.91	5.36	-9.3%	2.3	4.1	0.22	0.0670										
296	VSAP Opt	Phillips	Alroad SRP222	- / - / (P4)	100	114	2000	21	0.895	0.806	5.89	24.00	12.37	11.54	9.97	9.15	-8.2%	2.1	4.1	0.32	0.0803										
297	VSAP Opt	Phillips	Alroad SRP222	- / - / (P4)	150	167	2000	21	0.895	0.806	9.20	37.00	20.33	19.29	16.37	15.41	-5.9%	2.2	4.0	0.46	0.0923										

Anexo F. Resultados de las simulaciones para evaluar la DPEA

Tabla F3. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₄ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]		TCC [K]	S/P	DFL 12 000 h	FPL = DFL x F _e (F _e = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial (Con los 9 puntos) [lx]			Iluminancia mesópica promedio inicial [lx _{mes}]	Iluminancia fotópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx _{mes}]	Diferencia [%]	Uniformidad		DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]
					Lámp	Línea					Mínima	Máxima	Promedio					Prom/Min	Max/Min		
CASO 8: Ancho de calle: 12 m Distancia interpostal: 30 m Altura de montaje: 11 m																					
298	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	150	167	2000	21	0.895	0.806	10.00	36.00	20.13	18.80	16.21	14.92	-8.0%	2.0	3.6	0.46	0.0893
299	VAM	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	150	175	4000	65	0.545	0.491	5.12	15.00	10.55	11.86	5.18	5.88	13.6%	2.1	2.9	0.49	0.0336
300	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	7.13	26.00	12.99	14.53	6.37	7.53	18.2%	1.8	3.6	0.57	0.0369
301	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / FCO	250	290	4000	65	0.545	0.491	8.77	39.00	16.30	18.23	7.99	9.17	14.7%	1.9	4.4	0.81	0.0316
302	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	6.04	42.00	19.15	20.84	11.20	12.39	10.6%	3.2	7.0	0.49	0.0708
303	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R3 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	6.45	17.00	12.39	14.00	7.25	8.08	11.5%	1.9	2.6	0.49	0.0462
304	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	4.86	16.00	9.09	10.25	5.32	6.44	21.1%	1.9	3.3	0.33	0.0537
305	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P7)	60	66	2800	73	0.735	0.662	2.77	13.00	8.47	9.02	5.60	5.91	5.5%	3.1	4.7	0.18	0.0895
306	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P7)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	4.33	20.00	12.82	13.65	8.48	9.02	6.3%	3.0	4.6	0.27	0.0916
307	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P6)	140	154	2860	66	0.735	0.662	7.97	31.00	19.76	20.81	13.07	13.65	4.4%	2.5	3.9	0.43	0.0886
308	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / (P8)	140	154	2860	66	0.735	0.662	6.27	32.00	20.52	21.32	13.57	14.17	4.4%	3.3	5.1	0.43	0.0920
309	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	100	111	5000	85	0.900	0.810	2.75	10.00	6.96	8.66	5.64	6.94	23.0%	2.5	3.6	0.31	0.0625
310	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	120	134	5000	85	0.900	0.810	3.31	12.00	8.44	10.36	6.84	8.66	26.7%	2.5	3.6	0.37	0.0646
311	Inducción	Everlast Lighting	Charlevoix Cobra	R2 / - / FCO	150	165	5000	85	0.900	0.810	4.14	15.00	10.50	12.59	8.51	10.36	21.8%	2.5	3.6	0.46	0.0628
312	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	82	0.900	0.810	3.13	12.00	7.10	8.66	5.75	6.94	20.8%	2.3	3.8	0.25	0.0771
313	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0.900	0.810	3.69	14.00	8.33	10.36	6.74	8.08	19.8%	2.3	3.8	0.31	0.0728
314	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	82	0.900	0.810	4.13	16.00	9.31	11.48	7.54	9.22	22.3%	2.3	3.9	0.37	0.0688
315	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	82	0.900	0.810	5.16	20.00	11.70	13.70	9.47	11.48	21.2%	2.3	3.9	0.46	0.0696
316	LEDs	eLumen	LED-SL 66W	- / - / (4.5°)	n.a.	69	5000	82	0.920	0.828	3.65	9.89	7.29	8.97	6.03	7.29	20.8%	2.0	2.7	0.19	0.1057
317	LEDs	eLumen	LED-SL 100W	- / - / (4.5°)	n.a.	104	5000	82	0.920	0.828	5.45	15.00	10.87	12.83	9.00	10.63	18.1%	2.0	2.8	0.29	0.1022
318	LEDs	eLumen	LED-SL 150WX	- / - / (4.5°)	n.a.	155	5000	82	0.920	0.828	7.63	21.00	15.34	17.70	12.71	14.46	13.8%	2.0	2.8	0.43	0.0933
319	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	65	6000	70	0.920	0.828	3.19	13.00	6.57	8.23	5.44	7.07	30.0%	2.1	4.1	0.18	0.1088
320	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	80	6000	70	0.920	0.828	3.66	19.00	8.64	10.54	7.15	8.82	23.3%	2.4	5.2	0.22	0.1103
321	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	4.53	22.00	10.04	12.23	8.31	10.54	26.8%	2.2	4.9	0.26	0.1109
322	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	115	6000	70	0.920	0.828	5.34	25.00	11.47	13.91	9.49	11.67	22.9%	2.1	4.7	0.32	0.1015
323	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Short)	n.a.	127	6000	70	0.920	0.828	6.20	27.00	12.81	15.58	10.61	12.79	20.6%	2.1	4.4	0.35	0.1007
324	LEDs	GE	Evolve	- / - / (Wide)	n.a.	157	6000	70	0.920	0.828	7.14	28.00	13.93	16.68	11.53	13.91	20.6%	2.0	3.9	0.44	0.0886
325	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	43	5000	70	0.920	0.828	2.43	11.00	6.66	7.85	5.52	6.72	21.8%	2.7	4.5	0.12	0.1563
326	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0.920	0.828	2.38	12.00	7.06	8.42	5.85	7.29	24.6%	3.0	5.0	0.15	0.1325
327	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	3.12	16.00	9.44	11.18	7.81	9.53	22.0%	3.0	5.1	0.18	0.1466
328	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0.920	0.828	4.31	22.00	12.69	14.46	10.50	12.28	16.9%	2.9	5.1	0.24	0.1428
329	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	110	5000	70	0.920	0.828	4.95	23.00	13.81	16.08	11.44	13.37	16.9%	2.8	4.6	0.31	0.1215
330	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 450 mA	R2 / S / -	n.a.	143	5000	70	0.920	0.828	5.82	29.00	17.08	19.30	14.14	16.08	13.7%	2.9	5.0	0.40	0.1124
CASO 9: Ancho de calle: 12 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 11 m																					
331	VSAP	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	100	125	2000	21	0.875	0.788	2.74	14.00	7.98	7.25	6.29	5.83	-7.2%	2.9	5.1	0.26	0.0466
332	VSAP	American Electric	Roadway Series 125	R2 / M / FCO	250	286	2000	21	0.875	0.788	14.00	48.00	28.81	27.61	22.69	21.24	-6.4%	2.1	3.4	0.60	0.0743
333	VSAP	American Electric	Roadway Series 325	R3 / M / FCO	250	286	2000	21	0.875	0.788	10.00	39.00	20.50	19.29	16.14	14.92	-7.6%	2.1	3.9	0.60	0.0522
334	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R2 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	4.60	36.00	15.39	14.44	12.12	11.07	-8.6%	3.3	7.8	0.36	0.0644
335	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	150	172	2000	21	0.875	0.788	3.62	28.00	13.65	12.51	10.75	9.63	-10.4%	3.8	7.7	0.36	0.0560
336	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	250	286	2000	21	0.875	0.788	6.84	40.00	19.62	18.32	15.45	14.44	-6.6%	2.9	5.8	0.60	0.0505
337	VSAP	Cooper Lighting	Streetworks OVH	R3 / - / CO	250	286	2000	21	0.875	0.788	11.00	40.00	22.31	21.24	17.57	16.37	-6.8%	2.0	3.6	0.60	0.0572
338	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP221	- / - / (P3)	70	80	2000	21	0.895	0.806	2.06	13.00	5.85	5.36	4.71	3.96	-15.9%	2.8	6.3	0.17	0.0495
339	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	100	114	2000	21	0.895	0.806	3.81	23.00	9.88	9.15	7.96	7.25	-8.9%	2.6	6.0	0.24	0.0636
340	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P3)	150	167	2000	21	0.895	0.806	6.60	35.00	15.53	14.44	12.51	11.55	-7.7%	2.4	5.3	0.35	0.0692
341	VSAP Opt	Philips	AluRoad SRP222	- / - / (P4)	150	167	2000	21	0.895	0.806	6.52	34.00	15.37	16.44	12.38	11.55	-6.7%	2.4	5.2	0.35	0.0692
342	VAM	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / FCO	150	175	4000	65	0.545	0.491	2.81	15.00	7.92	9.17	3.89	4.77	22.8%	2.8	5.3	0.36	0.0273
343	VAM	American Electric	Roadway Series 115	R2 / S / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	3.84	17.00	8.28	9.71	4.06	4.77	17.5%	2.2	4.4	0.43	0.0234
344	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / CO	175	204	4000	65	0.545	0.491	5.11	24.00	10.09	11.32	4.95	5.88	18.8%	2.0	4.7	0.43	0.0288
345	VAM	American Electric	DuraStar Series 30	R2 / M / FCO	250	290	4000	65	0.545	0.491	5.89	22.00	14.03	15.59	6.88	8.08	17.4%	2.4	3.7	0.60	0.0279
346	VAM	American Electric	Roadway Series 125	R3 / M / FCO	250	290	4000	65	0.545	0.491	4.69	38.00	13.16	14.53	6.46	7.53	16.6%	2.8	8.1	0.60	0.0260
347	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R2 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	4.42	38.00	14.56	16.11	8.52	9.71	14.0%	3.3	8.6	0.36	0.0555

Tabla F3. Resultados de las simulaciones considerando un pavimento R₄ (continuación)

#	Tecnología	Marca	Modelo	Características fotométricas	Potencia [W]		TCC [K]	S/P	DFL 12 000 h	FPL = DFL x F _E (F _E = 0,90)	Iluminancia fotópica inicial (Con los 9 puntos) [lx]			Iluminancia mesópica promedio inicial [lx _{mes}]	Iluminancia fotópica promedio a las 12 000 h [lx]	Iluminancia mesópica promedio a las 12 000 h [lx _{mes}]	Diferencia [%]	Uniformidad		DPEA [W/m ²]	Luxes por unidad de carga a las 12 000 h [lx _{mes} /W]
					Lámp	Línea					Mínima	Máxima	Promedio					Prom/Min	Max/Min		
CASO 9: Ancho de calle: 12 m Distancia interpostal: 40 m Altura de montaje: 11 m																					
348	VAM PS	Cooper Lighting	Lumark	R3 / S / CO	150	175	4000	65	0.650	0.585	2.94	17.00	10.82	12.39	6.33	7.53	19.0%	3.7	5.8	0.36	0.0430
349	VAM PS	GE	M-250R2	R2 / S / CO	100	120	4000	65	0.650	0.585	3.47	15.00	6.95	8.08	4.06	4.77	17.4%	2.0	4.3	0.25	0.0398
350	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P10)	60	66	2800	73	0.735	0.662	1.45	11.00	6.27	6.94	4.15	4.33	4.5%	4.3	7.6	0.14	0.0656
351	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P10)	90	98.5	2750	66	0.735	0.662	2.41	17.00	9.85	10.57	6.51	6.94	6.5%	4.1	7.1	0.21	0.0705
352	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P9)	140	154	2860	66	0.735	0.662	4.33	28.00	15.65	16.22	10.35	11.09	7.1%	3.6	6.5	0.32	0.0720
353	VAM C	Philips	Koffer SGP100	- / - / - (P10)	140	154	2860	66	0.735	0.662	3.80	28.00	15.72	16.22	10.40	11.09	6.6%	4.1	7.4	0.32	0.0720
354	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	80	90	5000	82	0.900	0.810	2.14	11.00	5.31	6.94	4.30	5.76	34.0%	2.5	5.1	0.19	0.0640
355	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	100	111	5000	82	0.900	0.810	2.51	13.00	6.28	8.08	5.08	6.35	24.9%	2.5	5.2	0.23	0.0572
356	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	120	134	5000	82	0.900	0.810	2.81	15.00	7.12	8.66	5.77	7.51	30.1%	2.5	5.3	0.28	0.0560
357	Inducción	Everlast Lighting	Wellworth Cobra	R3 / - / -	150	165	5000	82	0.900	0.810	3.52	19.00	8.86	10.92	7.18	8.66	20.7%	2.5	5.4	0.34	0.0525
358	LEDs	eLumen	LED-SL 66W	- / - / - (9*)	n.a.	69	5000	82	0.920	0.828	1.84	6.32	4.98	6.15	4.13	5.00	21.2%	2.7	3.4	0.14	0.0725
359	LEDs	eLumen	LED-SL 100W	- / - / - (9*)	n.a.	104	5000	82	0.920	0.828	2.79	9.57	7.56	8.97	6.26	7.85	25.5%	2.7	3.4	0.22	0.0755
360	LEDs	eLumen	LED-SL 150WX	- / - / - (9*)	n.a.	155	5000	82	0.920	0.828	3.91	13.00	10.57	12.28	8.76	10.63	21.4%	2.7	3.3	0.32	0.0686
361	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	65	6000	70	0.920	0.828	2.20	13.00	4.96	6.48	4.10	5.29	28.9%	2.3	5.9	0.14	0.0814
362	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	80	6000	70	0.920	0.828	2.44	18.00	6.40	8.23	5.30	7.07	33.4%	2.6	7.4	0.17	0.0884
363	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	95	6000	70	0.920	0.828	2.94	21.00	7.45	9.39	6.17	7.65	24.0%	2.5	7.1	0.20	0.0805
364	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	115	6000	70	0.920	0.828	3.40	24.00	8.61	10.54	7.13	8.82	23.8%	2.5	7.1	0.24	0.0767
365	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Short)	n.a.	127	6000	70	0.920	0.828	3.92	25.00	9.48	11.67	7.85	9.96	26.9%	2.4	6.4	0.26	0.0784
366	LEDs	GE	Evolve	- / - / - (Wide)	n.a.	157	6000	70	0.920	0.828	4.83	26.00	11.19	13.36	9.27	11.67	26.0%	2.3	5.4	0.33	0.0743
367	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-48S @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	55	5000	70	0.920	0.828	1.45	9.94	5.30	6.72	4.39	5.58	27.2%	3.7	6.9	0.11	0.1015
368	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-72M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	65	5000	70	0.920	0.828	2.12	13.00	7.03	8.42	5.82	7.29	25.2%	3.3	6.1	0.14	0.1122
369	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 280 mA	R2 / S / -	n.a.	86	5000	70	0.920	0.828	2.93	17.00	9.45	11.18	7.82	9.53	21.8%	3.2	5.8	0.18	0.1108
370	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 350 mA	R2 / S / -	n.a.	110	5000	70	0.920	0.828	3.08	20.00	10.48	12.28	8.68	10.08	16.2%	3.4	6.5	0.23	0.0916
371	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 450 mA	R2 / S / -	n.a.	143	5000	70	0.920	0.828	3.74	24.00	12.50	14.46	10.35	12.28	18.6%	3.3	6.4	0.30	0.0859
372	LEDs	LED Roadway Lighting	SAT-96M @ 525mA	R2 / S / -	n.a.	175	5000	70	0.920	0.828	4.99	33.00	17.75	19.83	14.69	16.62	13.1%	3.6	6.6	0.36	0.0950

Anexo G. Ejemplo de las hojas de resultados obtenidas de las simulaciones con Dialux

Simulación Vialidad 9m x 30m x 9m

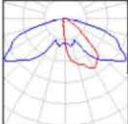
DIALux
25.01.2012

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Simulación Vialidad 9m x 30m x 9m / Lista de luminarias

3 Pieza LED ROADWAY LIGHTING S96M-1-X-XX-2-XX-G3-GAX-B1B-XX CAST ALUMINUM HOUSING, SPECULAR PLASTIC REFLECTORS, CLEAR PLASTIC ENCLOSURE.
N° de artículo: S96M-1-X-XX-2-XX-G3-GAX-B1B-XX
Flujo luminoso de las luminarias: 47563 lm
Potencia de las luminarias: 86.3 W
Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 37 81 100 91 99
Lámpara: 1 x 96 WHITE LEDS (Factor de corrección 1.000).

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.



DIALux 4.10 by DIAL GmbH Página 1

Simulación Vialidad 9m x 30m x 9m

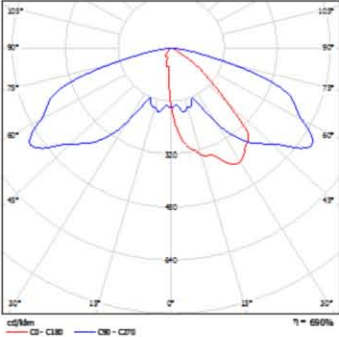
DIALux
25.01.2012

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

LED ROADWAY LIGHTING S96M-1-X-XX-2-XX-G3-GAX-B1B-XX CAST ALUMINUM HOUSING, SPECULAR PLASTIC REFLECTORS, CLEAR PLASTIC ENCLOSURE. / Hoja de datos de luminarias

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.

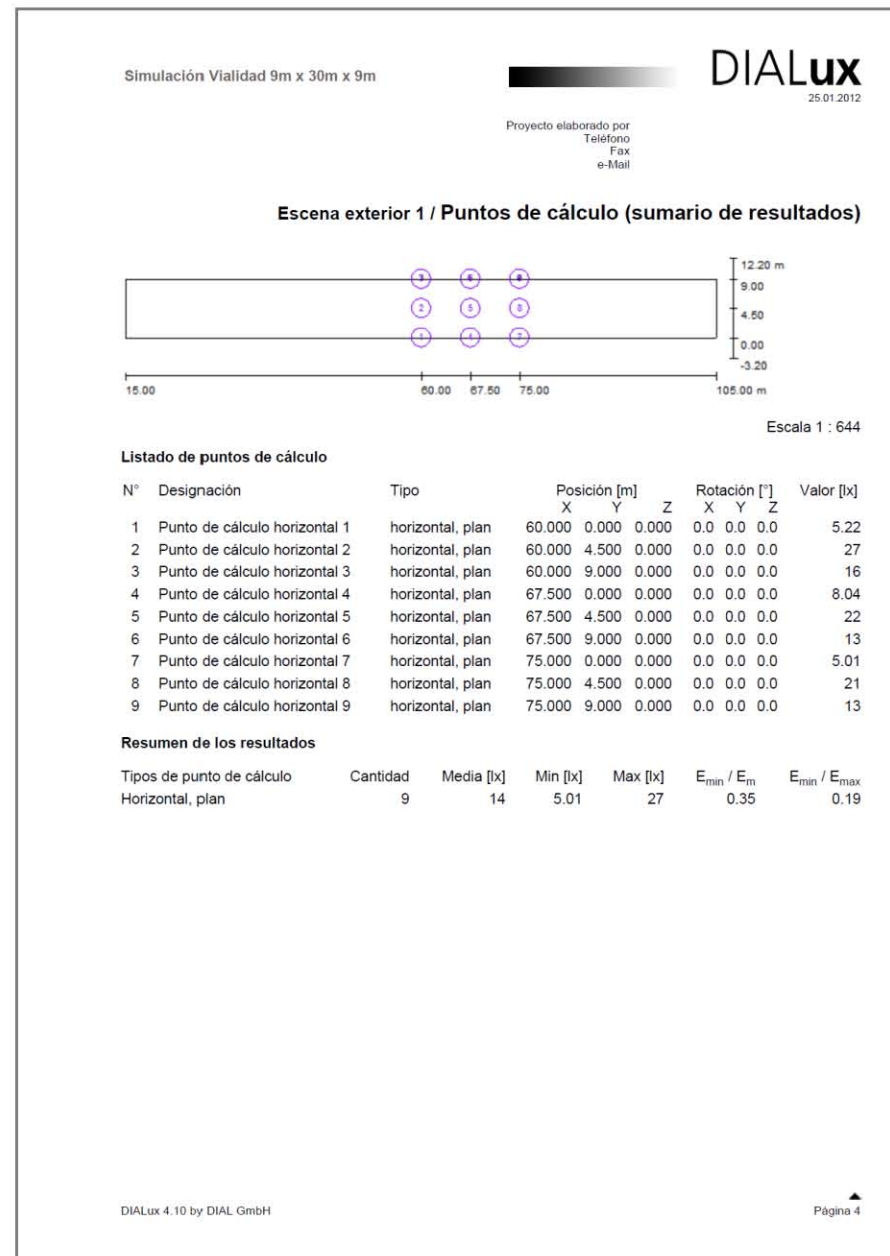
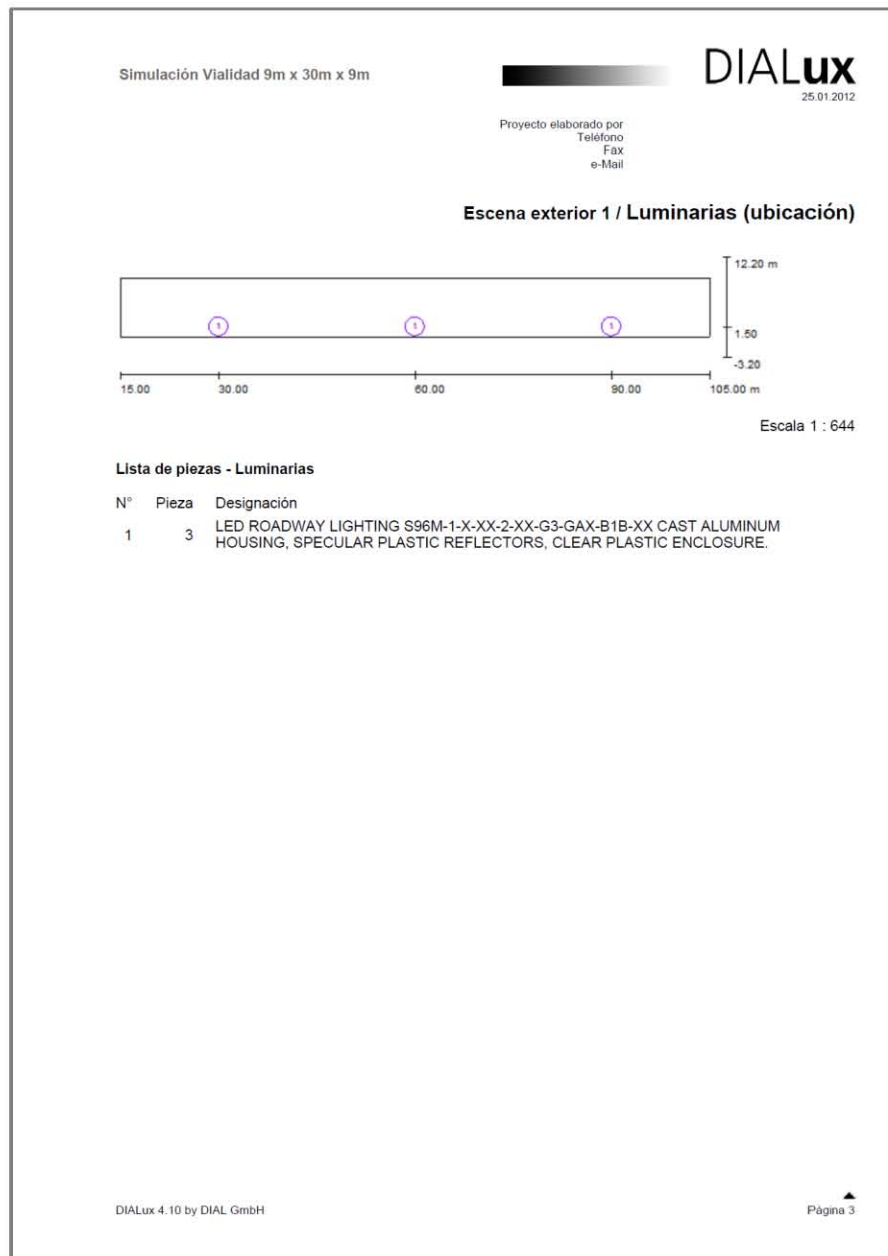
Emisión de luz 1:



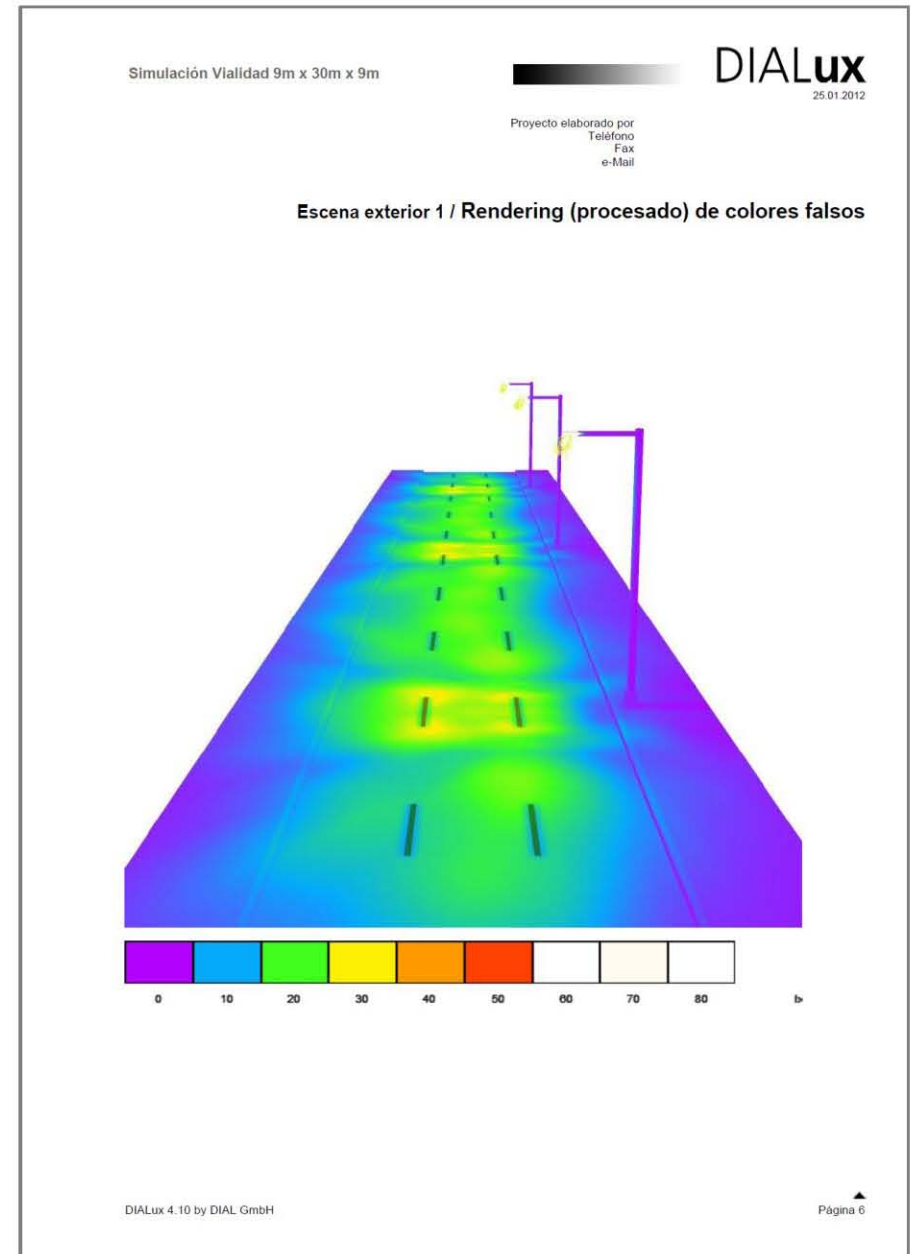
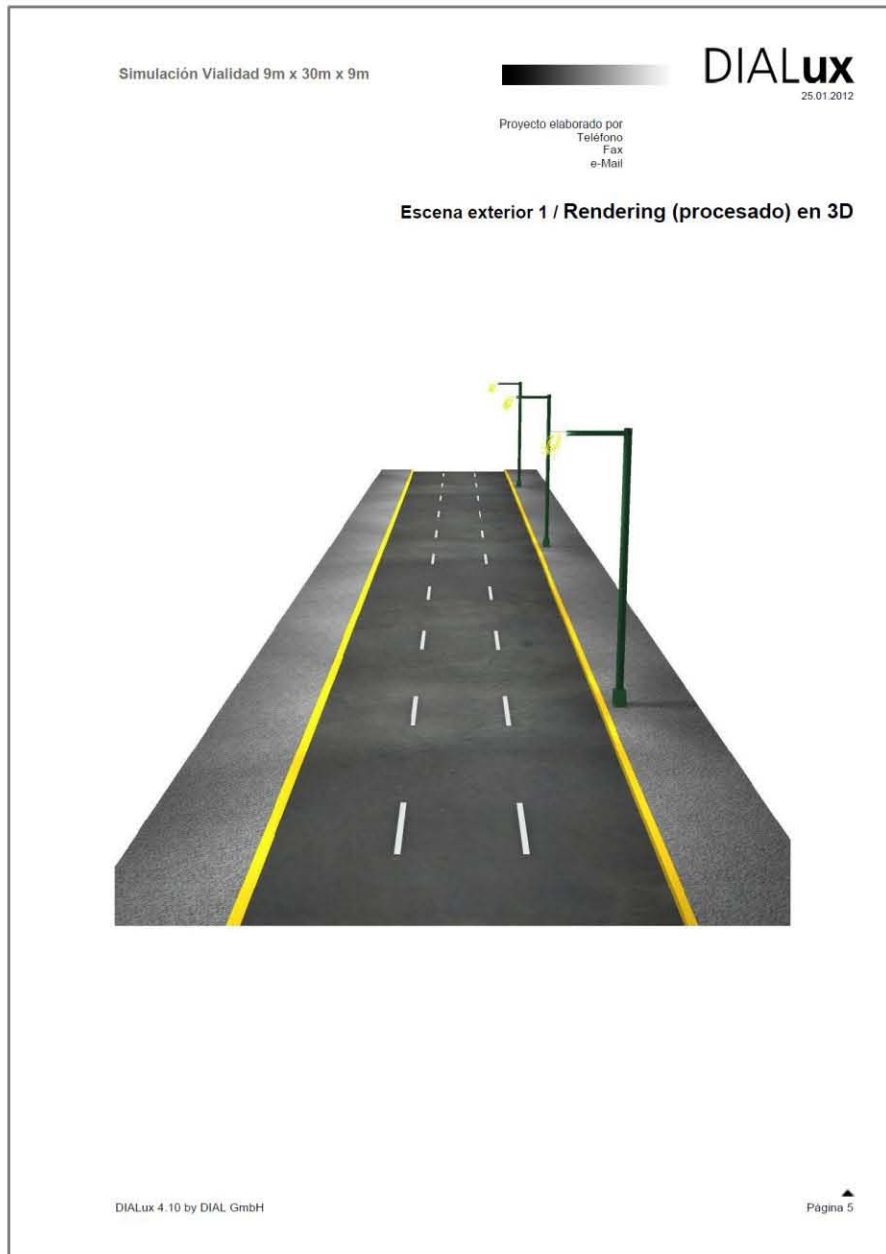
Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 37 81 100 91 99

Para esta luminaria no puede presentarse ninguna tabla UGR porque carece de atributos de simetría.

DIALux 4.10 by DIAL GmbH Página 2



Anexo G. Ejemplo de las hojas de resultados obtenidas de las simulaciones con Dialux



Bibliografía

- Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies, ASSIST. (2009). *ASSIST recommends... Outdoor lighting: Visual efficacy*. Volume 6, Issue 2.
- Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies, ASSIST. (2009). *ASSIST recommends... Recommendations for evaluating parking lot luminaires*. Volume 7, Issue 3, revisado en enero 2010.
- Alternativa Energética. (2011). Imágenes recuperadas el 15 de diciembre de 2011 de la página electrónica: <http://www.alternativaenergetica.com.mx/>.
- Amko Solara. (2012). Imágenes recuperadas el 7 de enero de 2012 de la página electrónica: <http://www.amkosolara.com/index.php>.
- Berman, S. (2010). *Scotopic enhanced lighting: The coming revolution in lighting practice*.
- Boyce, P. y Raynham, P. (2009). *The SLL lighting handbook*. The Society of Light and Lighting, SLL. Reino Unido.
- BUN-CA. (2007). *Manual técnico de iluminación*. Programa de Eficiencia Energética Regional en los Sectores Industrial y Comercial en Centroamérica.
- Comisión Federal de Electricidad, CFE. (s.d.). *Programa de obras e inversiones del sector eléctrico 2011-2025*. México
- Comisión Federal de Electricidad, CFE. (2012). *Tarifa 5 servicios para alumbrado público*. Información consultada el 1 de junio de 2012 de la página electrónica: <http://www.cfe.gob.mx/negocio/conocetarifa/Paginas/Tarifas.aspx>.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, CONUEE. (2010). *Proyecto nacional de eficiencia energética en alumbrado público municipal*.
- Commission Internationale de L'Eclairage, CIE. (2000). *Technical report CIE 140:2000 Road lighting calculations*. Austria.
- Commission Internationale de L'Eclairage, CIE. (2010). *CIE Publications*. Austria.
- Commission Internationale de L'Eclairage, CIE. (2010). *Technical report CIE 191:2010 Recommended system for mesopic photometry based on visual performance*. Austria.
- Commission Internationale de L'Eclairage, CIE. (2011). Información consultada el 27 de enero de 2012 de la página electrónica: <http://www.cie.co.at/>.

- CREE. (2011). Imágenes recuperadas el 27 de noviembre de 2011 de la página electrónica: <http://www.cree.com/>.
- CREE. (2012). *Series D - Recommended Cree outdoor luminaire lumen maintenance factors (LMF)*.
- Di Laura, D. (s.d.). *Photopic and Scotopic Lumens – 1: An introduction*
- Di Laura, D. (s.d.). *Photopic and Scotopic Lumens – 2: Bit of history*
- Di Laura, D. (s.d.). *Photopic and Scotopic Lumens – 3: The modern lumen.*
- Di Laura, D. (s.d.). *Photopic and Scotopic Lumens – 4. When the photopic lumen fails us.*
- Di Laura, D. (2012). An introduction to The IES lighting handbook 10th edition.
- Elumen. (s.d.). *LED street and area lights*. Canada.
- Energy Star. (2012). Imagen recuperada el 27 de enero de 2012 de la página electrónica: http://www.energystar.gov/index.cfm?c=cfls.pr_cfls_color.
- Everlast Induction Lighting. (2009). *EverLast Wellworth Type III Cobra*. Estados Unidos.
- Everlast Induction Lighting. (2009). *EverLast Smart Light Series. Charlevoix Rectangular Cobra*. Estados Unidos.
- Everlast Induction Lighting. (2011). Imágenes recuperadas el 27 de noviembre de 2011 de la página electrónica: <http://www.everlastlight.com/>.
- Eyes and Eyesight. (2012). Imagen recuperada el 15 de febrero de 2012 de la página electrónica: <http://www.eyesandeyesight.com/2009/02/anatomy-of-the-eye/>.
- e-consulta.com. (2012). *Pagará menos Ixtacuixtla, al sustituir más de tres mil lámparas*. Artículo publicado el 31 de mayo de 2012 en la página electrónica: <http://e-tlaxacala.mx>.
- Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, FIDE. (2008). *Especificación Sello FIDE No. 4139 Luminarios con LEDs para vialidades y áreas peatonales*. México.
- Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, FIDE. (2012). *Especificación Sello FIDE No. 4172 Luminarios con lámparas de inducción*. México.
- General Electric, GE. (s.d.). *Photopic and Scotopic – The eyes have it*.
- General Electric, GE. (s.d.). *GE Lamp and ballast catalog – Section 4: Fluorescent lamps*.
- General Electric, GE. (2006). *Starcoat T5 Ecolux high efficiency and high output*. Estados Unidos.

- General Electric, GE. (2008). *Catálogo general de iluminación*. España.
- General Electric, GE. (2010). *ConstantColor CMH. Ceramic metal halide lamps 70W, 100W, 150W tubular types. Product Information*.
- General Electric, GE. (2011). Imágenes recuperadas el 27 de noviembre de 2011 de la página electrónica: <http://www.gelighting.com/na/>.
- General Electric, GE. (2011). *Evolve LED roadway light medium cobrahead (ERMC)*.
- General Electric, GE. (2012). *HID Ballast application guide*. Revisión 1.
- Gobierno del Distrito Federal, Secretaria de Obras y Servicios. (2008). *El Alumbrado Público de la Ciudad de México*. Información consultada el 22 de noviembre de 2011 en la página electrónica: http://www.obras.df.gob.mx/?page_id=98.
- Halonen, L. y Eloholma, M. (2004). *Luminances and visibility in road lighting – Conditions, measurements and analysis*. Helsinki University of Technology, Lighting Laboratory. Finlandia.
- Halonen, L. y Eloholma, M. (2012). *Carta de prensa de la CIE: CIE and mesopic photometry*. Commission Internationale de L’Eclairage, CIE. Austria
- Illuminating Engineering Society, IES. (2005). *ANSI/IES RP-8-00 Roadway lighting. ANSI approved. Reaffirmed 2005*. Estados Unidos.
- Illuminating Engineering Society, IES. (2006). *IESNA TM-12-06 Spectral effects of lighting on visual performance at mesopic light levels*. Estados Unidos.
- Illuminating Engineering Society, IES. (2008). *IES LM-79-08 Approved Method: Electrical and photometric measurements of solid-state lighting products*. Estados Unidos.
- Illuminating Engineering Society, IES. (2008). *IES LM-80-08 Approved Method: Measuring lumen maintenance of LED light sources*. Estados Unidos.
- Illuminating Engineering Society, IES. (2011). Información consultada de la página electrónica: <http://www.iesna.org/>. Estados Unidos.
- Iluminet. (2011). Imágenes recuperadas el 15 de diciembre de 2011 de la página electrónica: <http://www.iluminet.com.mx/>
- Iluminet. (2012). *Más de 25 mil luminarias LED para Quintana Roo*. Artículo publicado el 31 de mayo de 2012 en la página electrónica: <http://www.iluminet.com.mx/>.
- Indalux. (2002). *Luminotecnia 2002*. Grupo Indal. España.

- Industrias Sola Basic, ISB. (s.d.). *Balastros para lámparas de aditivos metálicos tipo autotransformador auto-regulado de alto factor de potencia*. México.
- Industrias Sola Basic, ISB. (s.d.). *Balastros de bajas pérdidas para lámparas de vapor de sodio de baja presión tipo autotransformador auto-regulado de alto factor de potencia*. México.
- Industrias Sola Basic, ISB. (s.d.). *Balastros para lámparas de vapor de sodio de baja presión tipo autotransformador autorregulado alto factor de potencia*. México.
- Industrias Sola Basic, ISB. (2011). Imágenes recuperadas el 27 de noviembre de 2011 de la página electrónica: <http://www.isbmex.com/>.
- Kumho Electric. (s.d.). *Econergy induction lighting*. Estados Unidos.
- Kurzweil. (2012). Imagen recuperada el 4 de enero de 2012 de la página electrónica: <http://www.kurzweilai.net/3-d-cloaking-achieved-for-visible-light#!prettyPhoto/1/>.
- LED Roadway Lighting. (s.d.). *Especificaciones técnicas: luminaria vial de la serie Satellite SAT-24S (24 LEDs)*. Canada.
- LED Roadway Lighting. (s.d.). *Especificaciones técnicas: luminaria vial de la serie Satellite SAT-48S (24 LEDs)*. Canada.
- LED Roadway Lighting. (s.d.). *Especificaciones técnicas: luminaria vial de la serie Satellite SAT-72M (72 LEDs)*. Canada.
- LED Roadway Lighting. (s.d.). *Especificaciones técnicas: luminaria vial de la serie Satellite SAT-96M (96 LEDs)*. Canada.
- LED Roadway Lighting. (2008). *Vision and exterior lighting: Shining some light on scotopic and photopic lumens in roadway conditions*. Canada.
- LED Roadway Lighting. (2011). Imágenes recuperadas el 27 de noviembre de 2011 de la página electrónica: <http://www.ledroadwaylighting.com/es/>.
- Ley Federal sobre Metrología Normalización*. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de julio de 1992, última reforma publicada el 4 de abril de 2009.
- Licht.de. (2007). *Licht.Wissen 03 Roads, paths and squares*. Alemania.
- Licht.de. (2008). *Licht.Wissen 01 Lighting with artificial light*. Alemania.
- Licht.de. (2009). *Licht Forum 49 Induction lighting*. Alemania.
- Licht.de. (2010). *Licht.Wissen 17 LED: The light of the future*. Alemania.

LVD Induction Lamp. (2011). Imágenes recuperadas el 27 de noviembre de 2011 de la página electrónica: <http://www.lvd.cc/en/lvd/>.

Mean Well Europe. Imágenes recuperadas el 27 de noviembre de 2011 de la página electrónica: http://distributor.meanwell.eu/webnet_eu/search/seriessearch.html.

Mesopic Optimisation of Visual Efficiency. (2005). *Performance based model for mesopic photometry*. Helsinki University of Technology, Lighting Laboratory. Finlandia.

Metrel. (2002). *The illuminance handbook*.

Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia. (2010). *Anexo General Reglamento Técnico de iluminación y alumbrado público, RETILAP*. Colombia.

Municipio de Centro, Tabasco. (s.d.) *Plan de trabajo para la integración del Plan Municipal de Desarrollo 2010-2012, Coordinación de Alumbrado Público*. México.

National Lighting Product Information Program / Rensselaer Polytechnic Institute. (2011). *Specifier reports, Streetlights for local roads*. Estados Unidos.

Next Generation Luminaires. (s.d.). Información consultada el 23 de mayo de 2012 en la página electrónica: <http://www.ngldc.org/09/winners.stm>.

Nichia. (2011). Imágenes recuperadas el 27 de noviembre de 2011 de la página electrónica: http://www.nichia.co.jp/en/about_nichia/index.html.

Norma Mexicana NMX-Z-013/1-1977 Guía para la redacción, estructuración y presentación de las Normas Mexicanas. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2004 Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de abril de 2005.

Norma Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2004 Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de abril de 2005.

Norma Oficial Mexicana NOM-028-ENER-2010 Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de diciembre de 2010.

Norma Oficial Mexicana NOM-030-ENER-2012 Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de junio de 2012.

- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones eléctricas (Utilización)*. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de marzo de 2006.
- Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008 Condiciones de iluminación en los centros de trabajo*. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre de 2008.
- Observatorio Ciudadano de la Ciudad de México, OCCM. (2009). *Indicadores estratégicos de evaluación*. Información consultada el 23 de noviembre de 2011 en la página electrónica: <http://www.occm.mx/mapas/alumbrado/atlas/html>.
- Osram. (2005). *Catálogo de lámparas 2005/2006*.
- Osram. (2005). *A new direction for modern lighting design. Complete. Innovative. The new Lumilux T5 range from Osram: HE, HO, HO Constant and FC*.
- Osram. (2006). *The most important part is already there, Lumilux T8*.
- Osram. (2006). *Powerball HCl technical information*. Alemania.
- Osram. (2008). *Osram Vialox NAV high-pressure sodium lamps technical information*. Alemania.
- Osram. (2009). *Osram catálogo general 2009/2010*. México.
- Osram. (2011). *Product catalog*. Imágenes recuperadas el 27 de noviembre de 2011 de la página electrónica: http://www.osram.com/osram_com/.
- Osram Opto Semiconductors. (2010). *Reliability test data 100168W1. Lumen and chromaticity maintenance test report (IESNA LM-80)*. Alemania.
- Osram Opto Semiconductors. (2010). *Reliability test data 100184W1. Lumen and chromaticity maintenance test report (IESNA LM-80)*. Alemania.
- Osram-Sylvania. (2000). *Frequently asked questions – Lumens and mesopic vision: How do Lumens change in the area of mesopic vision?*
- Osram-Sylvania. (2005). *Frequently asked questions – What is a S/P ratio and are some values for common lamp types?*
- Osram-Sylvania. (2009). *Metalarc Pulse Start - E17 Low wattage Metal halide lamps for open and enclosed fixtures*. Estados Unidos.
- Osram-Sylvania. (2010). *Metalarc Powerball Ceramic, High CRI, Ceramic Metal halide E17 and high wattage lamps*. Estados Unidos.
- Philips. (2006). *Philips Silhouette T5 Fluorescent lamps*. Canada.

- Philips. (2006). *The foundations of change, Philips CosmoPolis*.
- Philips. (2008). *White light, Transforming your urban nightscape*. Países Bajos.
- Philips. (2010). *Philips Lighting México, Catálogo general de lámparas 2010 / 2011*. México.
- Philips. (2010). *Master CityWhite CDO-TT 70W/828 E27 1SL*.
- Philips. (2010). *Master CityWhite CDO-TT 100W/828 E40 1SL*.
- Philips. (2010). *Master CityWhite CDO-TT 150W/828 E40 1SL*.
- Philips. (2010). *Master CityWhite CDO-TT 250W/828 E40 1SL*.
- Philips. (2010). *Master SON-T PIA plus 70W/220 E27 1SL*.
- Philips. (2010). *Master SON-T PIA plus 100W/220 E40 1SL*.
- Philips. (2010). *Master SON-T PIA plus 150W/220 E40 1SL*.
- Philips. (2010). *Master SON-T PIA plus 250W/220 E40 1SL*.
- Philips. (2010). *SON-T 70W/220 E27 1SL*.
- Philips. (2010). *SON-T 100W/220 E40 1SL*
- Philips. (2010). *SON-T 150W/220 E40 1SL*
- Philips. (2010). *SON-T 250W/220 E40 1SL*
- Philips. (2011). Imágenes recuperadas el 27 de noviembre de 2011 de la página electrónica: <http://www.lighting.philips.com.mx/index.wpd>.
- Philips. (2012). *Master CosmoWhite CPO-TW 60W/728 PGZ12 1CT*.
- Philips. (2012). *Master CosmoWhite CPO-TW 90W/728 PGZ12 1CT*.
- Philips. (2012). *Master CosmoWhite CPO-TW 140W/728 PGZ12 1CT*.
- Philips. (2012). *Folleto de producto Koffer SGP100 CPO-TW140W K EB II GB 9006*.
- Philips Advance. (2009). *Pocket guide to high intensity discharge lamp ballast*. Estados Unidos.
- Philips Advance. (2010). *Lo mejor en innovación tecnológica, Atlas Philips-Advance*. 2010.
- Philips Advance. (2010). *Lighting electronics atlas, Full line catalog 2010-2011*. Estados Unidos.
- Philips Lumileds. (2011). *Luxeon rebel IES LM-80 test report*.
- Presidencia de la República. (2011). *Anexo estadístico del quinto informe de gobierno*. México.

- Procedimiento para la evaluación de la conformidad de la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2004 Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.* Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de noviembre de 2006.
- Procedimiento para la evaluación de la conformidad de la Norma Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2004 Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas.* Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 9 de agosto de 2006.
- Programa GEI México. (s.d.). *Metodología para la estimación del factor de emisión eléctrico para inventarios de emisiones corporativas de GEI para el Programa GEI México.* Información consultada el 1 de junio de 2012 en la página electrónica: <http://www.geimexico.org>.
- Programa Nacional de Normalización 2011.* Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 8 de abril de 2011. México.
- Rea M., Bierman, A., Bullough, J. y Freyssinier-Nova, J. (2003). *A proposed unified system of photometry.* Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. Estados Unidos.
- Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.* Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de enero de 1999.
- Secretaría de Energía, SENER / Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, CONUEE. (2009). *Premios Nacionales 2009: Ahorro de energía y energía renovable.* México.
- Secretaría de Energía, SENER. (2010). *Prospectiva del sector eléctrico 2010-2025.* México.
- Secretaría de Energía, SENER. (2012). *Sistema de Información Energética: Consumo de combustibles del sector eléctrico nacional.* Información consultada el 29 de mayo de 2012 en la página electrónica: <http://sie.energia.gob.mx/>.
- Secretaría de Energía, SENER. (2012). *Sistema de Información Energética: Generación bruta de energía por tecnología del sector eléctrico nacional.* Información consultada el 29 de mayo de 2012 en la página electrónica: <http://sie.energia.gob.mx/>.
- Secretaría de Energía, SENER. (2012). *Sistema de Información Energética: Ventas internas de energía eléctrica del sector eléctrico nacional.* Información consultada el 29 de mayo de 2012 en la página electrónica: <http://sie.energia.gob.mx/>.
- SLI Lighting. (s.d.). *Catálogo de lámparas y balastros SLI Lighting.*
- SLI Lighting. (2006). *Protect metal halide.*
- SLI Lighting. (2009). *Metal halide MH100W/U/MED.*

- SLI Lighting. (2011). Imágenes recuperadas el 27 de noviembre de 2011 de la página electrónica: <http://www.havells-sli.info/index.php>.
- Solar Lighting. (s.d.). *Application note 113: Radiometer specification guide*. Estados Unidos.
- Taylor, A. (2000). *Illumination fundamentals*. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. Estados Unidos.
- U.S Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration. (2008). *National pedestrian crash report*. Estados Unidos.
- Venture Lighting. (2010). *Uni-Form pulse start metal halide lighting systems - 100 watt pulse start lamp*. Estados Unidos.
- Venture Lighting. (2010). *Uni-Form pulse start metal halide lighting systems - 150 watt pulse start lamp*. Estados Unidos.
- Venture Lighting. (2010). *Standard probe start metal halide lighting systems – 175 watt probe start lamp*. Estados Unidos.
- Wikipedia. (2012). Imágenes recuperadas el 17 de febrero de 2012 de la página electrónica: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4f/Golovin-Sivtsev_Table.svg.
- Zisis, G. y Mucklejohn, S. (2006). *Standardizing mesopic vision conditions and incidence on light sources and technology*. International standardization as a strategic tool. International Electrotechnical Commission. Suiza.
- Zumtobel. (2004). *The lighting handbook*.