Título del trabajo/ Title of paper:
Medida dinámica de la Luminancia en la vía pública.

Autor/es/ Author/s:
José Miguel Perandones Peidró (AMAC Europa S.L.)
Aquilino Molinero Martínez (AMAC Europa S.L.)
Alberto Senén Perales García (AMAC Europa S.L.)
Miguel Sobrino Balsa (AMAC Europa S.L.)

Entidad/s Company/s:
AMAC Europa S.L.

Dirección principal/ Mail address*:*
asperales@amaceuropa.es; amolinero@amaceuropa.es

Teléfono, e-mail de la persona de contacto/
Phone, e-mail address of the contact person:
Aquilino Molinero
T +34 983 024 100
M +34 651 556 545
amolinero@amaceuropa.es

Tema:
(Indique el tema)
3.- Normativa, Legislación, Calibración y Certificación.
12.- Realizaciones prácticas

1. Científico y formación es aspectos generales de la iluminación: visión, color, fotometría, luminotecnia…….
2. Luz, salud y bienestar
3. **Normativa, Legislación, Calibración y Certificación**
4. Iluminación interior
5. Iluminación conectada en interior
6. Sistemas de control y equipos auxiliares
7. Eficiencia energética y empresas de Servicios energéticos
8. Ciudades inteligentes e iluminación conectada en exterior
9. Gestión de fondos y ayudas para el ahorro
10. Otros usos de la luz
11. Novedades tecnológicas
12. **Realizaciones prácticas**
13. Contaminación lumínica
14. Energías renovables
15. Alumbrado de emergencia

Resumen de la ponencia:
Máximo espacio disponible: 4.000 caracteres
Mínimo espacio requerido: 2.000 caracteres con espacios incluidos

Summary of text:
Máximum available space: 4.000 characters
Minimum space required: 2.000 characters with spaces included

0.- Resumen.

El **objetivo general** (OG) de la presente comunicación es el de analizar el parámetro de la "*Luminancia*" a la hora de evaluar cualquier instalación de alumbrado exterior en la vía pública (bien en zona urbana, como interurbana, así como en vías iluminadas a cielo abierto o en túneles).

Según la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) y recogido en el *"Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre (BOE de 19 de noviembre de 2008), por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07"*, se define "Luminancia" como la intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada por la misma superficie en la dirección del ojo del observador. En esta comunicación se pretende abordar en primer lugar (**Objetivo Específico - OE1**), cuál es la interpretación física de este parámetro, sobre todo desde un punto de vista de seguridad vial, entendiendo así aspectos como la necesidad de que un conductor vea en determinadas vías (aquellas catalogadas como clase ME), a un obstáculo en la calzada a una distancia de 60-100 metros, y le dé tiempo a reaccionar. Este primer objetivo ayudará a entender por qué es obligatorio medir "Luminancia" cuando se esté analizando una vía de estas características, independientemente se aporte o no los valores de "iluminancia" en estas zonas.

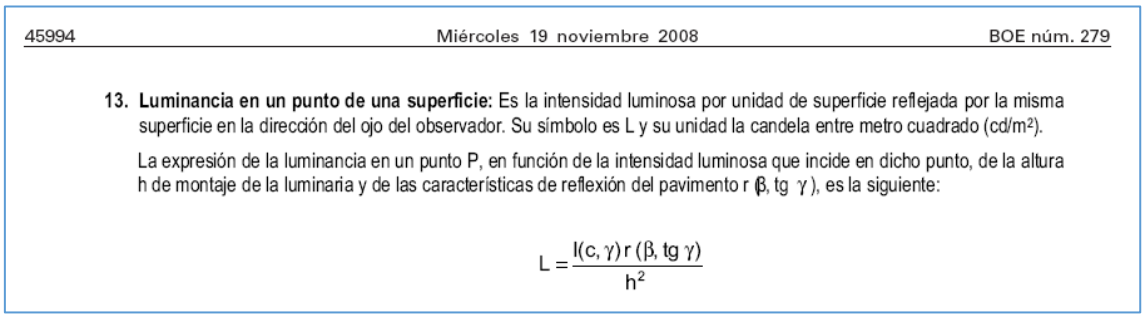
A la hora de medir este parámetro, han surgido recientemente los equipos de alto rendimiento y que son capaces de medir este parámetro dinámicamente, suponiendo ello que se pueda medir en cualquier carril, a la velocidad de la vía, sin necesidad de interferir en el tráfico y no suponiendo un peligro de seguridad vial como suponía cuando se mide luminancia de manera estática. Es por ello que el **segundo objetivo específico** de esta comunicación (OE2) es el de describir las ventajas de los sistemas dinámicos de medida de luminancia frente a los sistemas estáticos. Para ello, se hará referencia a la reciente *"Guía técnica para la realización de medidas dinámicas de iluminancia y luminancia en instalaciones de alumbrado exterior",* CEI-IDAE, 2025. En este objetivo, se abordará también cómo debe ser el luminancímetro y/o la cámara calibrada en luminancia (ILMD) que debe usarse en estas mediciones, desde el punto de vista de la definición de cómo deben ser los spots (diámetros) que deben usarse para medir correctamente este parámetro (según se define en la *"UNE-EN-13201-4: Iluminación de carreteras. Parte 4 Métodos de medida de las prestaciones de iluminación").*

Relacionado con el OE2, esta comunicación pretende abordar un **tercer objetivo específico** OE3 que consistirá en describir cómo se pueden aportar valores de Luminancia en vías en los que el radio de curvatura de la vía sea extremadamente bajo e imposibilite la medida de Luminancia (bien estática o dinámicamente) según define la mencionada guía o según se define también en *"UNE-EN-13201-4".* En concreto, se describirá cómo utilizar valores de iluminancia en esos tramos curvos para estimar la Luminancia junto el valor real del llamado coeficiente R (que indica la calidad de la reflexión de la luz en una superficie de pavimento), habiendo medido previamente los dos parámetros (luminancia e iluminancia) en tramos inmediatamente anteriores y menos curvos de esa misma mía y así haber calculado ese coeficiente R (y no utilizar el valor generalizado de R=15 para cualquier superficie). Como continuación de haber mencionado este coeficiente R, se planteará en esta comunicación un **cuarto y último objetivo específico** (OE4) y que consistirá en recordar de dónde procede este coeficiente R, así como mostrar ejemplos reales en los que la variación de R, a igualdad de valores de iluminancia, afecta al valor de luminancia, con lo que podría suponer en la certificación final de una instalación.

El interés de esta comunicación en el LII Simposium Nacional de Alumbrado radica en poder ayudar a los técnicos y personas relacionadas con el desarrollo y puesta en uso de las instalaciones de alumbrado exterior, en la aplicación e interpretación clara de la obligatoriedad de evaluar Luminancia en determinadas vías, principalmente con equipos de alto rendimiento. Así pues, el destinatario de esta comunicación, es el de cualquier personal técnico que pretenda evaluar bajo criterios unificados de este parámetro luminotécnico (L), tanto en fase inicial de partida (auditoría), como de evaluación para la justificación prestacional de este parámetro como resultado de una actuación, al objeto de cumplir los niveles de diseño así como la comprobación de que estos están dentro de la normativa de una manera eficaz y eficiente.

1.- Antecedentes y objeto de la ponencia.

Según la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) y recogido en el *"Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre (BOE de 19 de noviembre de 2008), por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07"*, se define "Luminancia" como la intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada por la misma superficie en la dirección del ojo del observador.



45994 Miércoles 19 noviembre 2008 BOE núm. 279

13. **Luminancia en un punto de una superficie:** Es la intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada por la misma superficie en la dirección del ojo del observador. Su símbolo es L y su unidad la candela entre metro cuadrado (cd/m²).

La expresión de la luminancia en un punto P, en función de la intensidad luminosa que incide en dicho punto, de la altura h de montaje de la luminaria y de las características de reflexión del pavimento r (β, tg γ), es la siguiente:

$$L = \frac{I(c, \gamma)\, r\,(\beta, \text{tg}\,\gamma)}{h^2}$$

Imagen 1.- Definición de "Luminancia" según RD 1890/2008.

Si el concepto de Luminancia lo trasladamos a una vía o carretera (bien urbana o interurbana), su interpretación física en ingeniería de alumbrado vial sería la de *"luz reflejada por la superficie del pavimento en dirección al ojo del conductor"*, siendo su unidad de medida la de "candela por metro cuadrado (cd/m^2)". La utilidad asociada a la Luminancia en una vía es asegurar que un conductor sea capaz de detectar un obstáculo (por ejemplo, un peatón) a una distancia de 60 metros y tenga tiempo suficiente para poder frenar.

El objeto de esta ponencia es el de ayudar a los técnicos y personas relacionadas con el desarrollo y puesta en uso de las instalaciones de alumbrado exterior, en la aplicación e interpretación clara de la obligatoriedad de evaluar "Luminancia" en determinadas vías. De manera específica, se persiguen los siguientes objetivos específicos:

- Objetivo Específico - OE1: Conocer cuál es la interpretación física de este parámetro, y saber cuándo es obligatorio medir este parámetro.
- Objetivo Específico – OE2: Describir cómo se mide este parámetro con equipos estáticos y equipos dinámicos.
- Objetivo Específico – OE3: Detallar cómo se puede medir este parámetro en zonas curvas en las que no existe suficiente distancia recta a la cual se debe medir este parámetro.
- Objetivo Específico – OE4: Saber de dónde procede el coeficiente R, y ver cómo la variación de R, a igualdad de valores de iluminancia, afecta al valor de luminancia, con lo que podría suponer en la certificación final de una instalación.

2.- OE1: Interpretación física de la Luminancia y la obligatoriedad de medir este parámetro.

2.1.- Interpretación física de la Luminancia.

A diferencia de la "iluminancia" (lx), que mide la luz que incide sobre la carretera, la "luminancia" (cd/m^2) mide el brillo real que percibe el conductor, y que sirve para determinar la "visibilidad y seguridad vial". Es por ello, que una posible comparativa entre iluminancia y luminancia en una vía podría ser la que existe con las gotas de agua de lluvia: mientras la iluminancia es la cantidad de gotas que caen a la vía desde las luminarias, **la luminancia sería la cantidad de gotas que saldrían rebotadas desde la vía hacia el conductor**.



Imagen 2.- Comparativa entre iluminancia y luminancia con las gotas de lluvia.

La utilidad asociada a esta "Luminancia" en una vía pública iluminada es *"**asegurar que un conductor sea capaz de detectar un obstáculo** (incluido peatón) a una distancia de 60 metros y tenga tiempo suficiente para poder frenar".*

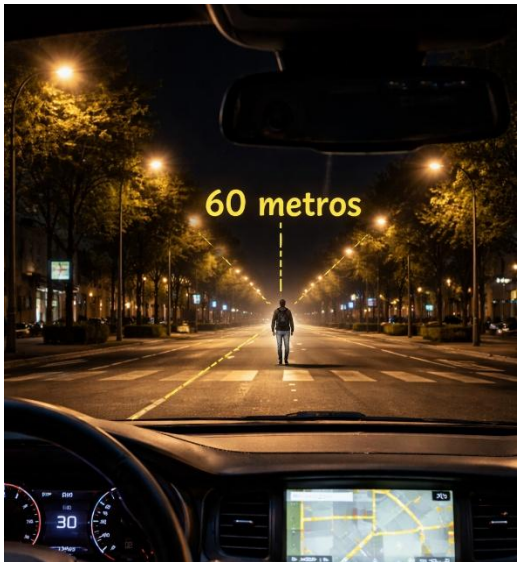


Imagen 3.- La utilidad para un conductor de que una vía iluminada posea una adecuada Luminancia, se centra en poder detectar cualquier obstáculo.

Cabe mencionar que, en un vehículo, las luces de corto alcance o de cruce (que son las que se deberían tener encendidas en una vía Iluminada) tienen un alcance aproximado de 50 a 75 metros.

> **3.1 Probabilidad de Visón**
>
> *La "probabilidad de visión" RP se define como el porcentaje de objetos, con una reflectancia similar a la de la ropa de los peatones, situados en diversos puntos entre 60 y 160 metros delante del observador (campo de visión de un conductor de vehículo), de una calzada dotada de alumbrado viario con distintos niveles de iluminación (luminancia e iluminancia media y uniformidades mínimas, así como valores máximos de deslumbramiento perturbador), que pueden ser vistos o percibidos por una serie de observadores.*
>
> *La "probabilidad de visión" o "poder revelador" RP es función de tres parámetros luminotécnicos: la luminancia media de la superficie de la calzada (L_m), la uniformidad global (U_o) de dicha luminancia y el deslumbramiento perturbador (TI) o incremento umbral.*

Imagen 4.- Definición de "Probabilidad de visión" según "Guía Técnica de aplicación: Eficiencia Energética en instalaciones de alumbrado exterior. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Guía-EA-Anexo-III. 2013".

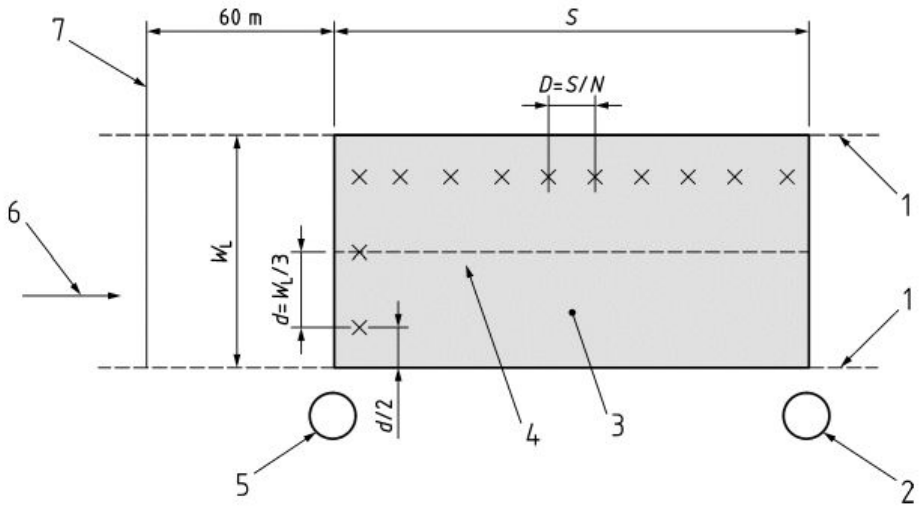
Es por ello que, entre otros aspectos, la normativa aplicable (*"UNE-EN-13201-4: Iluminación de carreteras. Parte 4 Métodos de medida de las prestaciones de iluminación")* define que la Luminancia se deba medir a 60 metros. Estas distancias también se encuentran así definidas en la *"Guía técnica para la realización de medidas dinámicas de iluminancia y luminancia en instalaciones de alumbrado exterior",* CEI-IDAE, 2025.

> EN 13201-3:2015 - 26 - AENOR
>
> **7.1.4 Posición del observador**
>
> Para los cálculos de luminancia el ojo del observador está a 1,5 m por encima del nivel de la carretera y a 60 m por delante del campo de cálculo del área en cuestión.

> AENOR - 13 - EN 13201-4:2015
>
> Para cada tipo de medidor de luminancia, en cada caso de medición puntual de la cuadrícula el ángulo subtendido de la superficie de la carretera medida no debe ser mayor de 2 min de arco en el plano vertical y no mayor de 20 min de arco en el plano horizontal. El ángulo subtendido mínimo no debe ser menor de 1 min de arco.
>
> NOTA 1 El campo de cálculo especificado en la Norma EN 13201-3 comienza a 60 m del observador. Esto significa que para prevenir la superposición de las áreas de medición como se ve a través de un medidor de luminancia fijado a esta distancia, el valor máximo del ángulo del cono de medición tiene el valor indicado arriba.

Imagen 5.- Menciones de la EN-13201-3 y -4 a la distancia a la que se debe medir Luminancia (60 metros).

NOTA Esta cuadrícula es similar a la cuadrícula usada para cálculos de iluminancia en lo que respecta al posicionamiento de la primera y última fila de puntos de cálculo en la dirección transversal (véase la figura 14).



Leyenda
1 Borde del carril
2 Ultima luminaria en el campo de cálculo
3 Campo de cálculo
4 Línea central del carril
5 Primera luminaria en el campo de cálculo
6 Dirección de observación
7 Posición longitudinal del observador
X Indica líneas de puntos de cálculo en las direcciones transversales y longitudinales.

Imagen 6.- Características de la rejilla o retícula sobre la que medir Luminancia (a 60 metros desde el observador) según EN-13201-3.

2.2.- Obligatoriedad de medir este parámetro.

Según define el *"Real Decreto 1890/2008", "el nivel de iluminación requerido por una vía depende de múltiples factores como son el tipo de vía, la complejidad de su trazado, la intensidad y sistema de control del tráfico y la separación entre carriles destinados a distintos tipos de usuarios. En función de estos criterios, las vías de circulación se clasifican en varios grupos o situaciones de proyecto, asignándose a cada uno de ellos unos requisitos fotométricos específicos que tienen en cuenta las necesidades visuales de los usuarios, así como aspectos medio ambientales de las vías".*

Es por ello que la medición de la luminancia en zonas urbanas es obligatoria principalmente en el alumbrado viario (calzadas) donde se requiere garantizar la seguridad vial y el confort visual de los conductores. En concreto, este *Real Decreto 1890/2008,* define que **son las vías catalogadas como ME** aquellas cuya iluminación se rige por los valores de Luminancia que tenga, y no por lo de la iluminancia.



Imagen 7.- Ejemplo de vía ME en la que es obligatorio evaluar Luminancia para poder detectar posibles obstáculos en la vía.

Estas vías “ME” se caracterizan por ser, o vías denominadas “A”, o ser “B”, las cuales se definen según indica la “Tabla 1” del *Real Decreto 1890/2008:*

Clasificación	Tipo de vía	Velocidad del tráfico rodado (km/h)
A	de alta velocidad	$v > 60$
B	de moderada velocidad	$30 < v \leq 60$

Imagen 8.- Tabla 1 del RD 1890/2008.

Además, estas vías A y B se deben caracterizar por lo que define la Tabla 2 de este *RD 1890/2008*:

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado(*)
A1	• ***Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías).*** Intensidad de tráfico Alta (IMD) ≥ 25.000 Media (IMD) ≥ 15.000 y < 25.000 Baja (IMD) < 15.000 • ***Carreteras de calzada única con doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas).*** Intensidad de tráfico Alta (IMD) > 15.000 Media y baja (IMD) < 15.000	 ME1 ME2 ME3a ME1 ME2
A2	• ***Carreteras interurbanas sin separación de aceras o carriles bici.*** • ***Carreteras locales en zonas rurales sin vía de servicio.*** Intensidad de tráfico IMD ≥ 7.000 IMD < 7.000	 ME1 / ME2 ME3a / ME4a
A3	• ***Vías colectoras y rondas de circunvalación.*** • ***Carreteras interurbanas con accesos no restringidos.*** • ***Vías urbanas de tráfico importante, rápidas radiales y de distribución urbana a distritos.*** • ***Vías principales de la ciudad y travesía de poblaciones.*** Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera. IMD ≥ 25.000 IMD ≥ 15.000 y < 25.000 IMD ≥ 7.000 y < 15.000 IMD < 7.000	 ME1 ME2 ME3b ME4a / ME4b

(*) Para todas las situaciones de proyecto (A1, A2 y A3), cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado(*)
B1	• ***Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante.*** • ***Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas.*** Intensidad de tráfico IMD ≥ 7.000 IMD < 7.000	 ME2 / ME3c ME4b / ME5 / ME6
B2	• ***Carreteras locales en áreas rurales.*** Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera. IMD ≥ 7.000 IMD < 7.000	 ME2 / ME3b ME4b / ME5

(*) Para todas las situaciones de proyecto B1 y B2, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Imagen 9.- Tabla 2 del RD 1890/2008.

Será obligatorio medir Luminancia en estas vías "A" y "B". Cabe mencionar que la catalogación final de una vía la otorga el titular de esa vía (Ayuntamiento, Diputación, Junta o Ministerio). Los valores de Luminancia que se deben alcanzar en esas vías, los define la Tabla 3 de este *RD 1890/2008*:

Clase de Alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	Luminancia [4] Media L_m (cd/m²)[1]	Uniformidad Global U_o *[mínima]*	Uniformidad Longitudinal $U_□$ *[mínima]*	Incremento Umbral *TI* (%)[2] *[máximo]*	Relación Entorno *SR* [3] *[mínima]*
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3a	1,00	0,40	0,70	15	0,50
ME3b	1,00	0,40	0,60	15	0,50
ME3c	1,00	0,40	0,50	15	0,50
ME4a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,50
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6	0,30	0,35	0,40	15	Sin requisitos

[1] Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado, a excepción de (TI), que son valores máximos iniciales. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento (f_m) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

[2] Cuando se utilicen fuentes de luz de baja luminancia (lámparas fluorescentes y de vapor de sodio a baja presión), puede permitirse un aumento de 5% del incremento umbral (TI).

[3] La relación entorno SR debe aplicarse en aquellas vías de tráfico rodado donde no existan otras áreas contiguas a la calzada que tengan sus propios requisitos. La anchura de las bandas adyacentes para la relación entorno SR será igual como mínimo a la de un carril de tráfico, recomendándose a ser posible 5 m de anchura.

[4] Los valores de luminancia dados pueden convertirse en valores de iluminancia, multiplicando los primeros por el coeficiente R (según C.I.E.) del pavimento utilizado, tomando un valor de 15 cuando éste no se conozca.

Imagen 10.- Tabla 3 del RD 1890/2008.

En el caso que esa vía se encuentre en una zona geográficas en la que la intensidad y persistencia de la lluvia provoque que, durante una parte significativa de las horas nocturnas a lo largo del año, la superficie de la calzada permanezca mojada (aproximadamente 120 días de lluvia anuales, y que se pueden consultar por ejemplo en la Agencia Estatal de Meteorología - https://www.aemet.es/), los valores mínimos de Luminancia que debería tener esa vía deberían ser los de la Tabla 4 de este *RD 1890/2008*:

Clase de Alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas y húmedas				Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	Calzada seca			Calzada húmeda		
	Luminancia [5] Media L_m (cd/m²) [1]	Uniformidad Global U_o *[mínima]*	Uniformidad Longitudinal U_l [2] *[mínima]*	Uniformidad Global U_0 *[mínima]*	Incremento Umbral *TI* (%) [3] *[máximo]*	Relación Entorno *SR* [4] *[mínima]*
MEW1	2,00	0,40	0, 60	0,15	10	0,50
MEW2	1,50	0,40	0, 60	0,15	10	0,50
MEW3	1,00	0,40	0, 60	0,15	15	0,50
MEW4	0,75	0,40	Sin requisitos	0,15	15	0,50
MEW5	0,50	0,35	Sin requisitos	0,15	15	0,50

[1] Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado, a excepción de (TI), que son valores máximos iniciales. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento (f_m) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

[2] Este criterio es voluntario pero puede utilizarse, por ejemplo, en autopistas, autovías y carreteras de calzada única de doble sentido de circulación y accesos limitados.

[3] Cuando se utilicen fuentes de luz de baja luminancia (lámparas fluorescentes y de vapor de sodio a baja presión), puede permitirse un aumento de 5% del incremento umbral (TI)

[4] La relación entorno SR debe aplicarse en aquellas vías de tráfico rodado donde no existan áreas contiguas a la calzada con sus propios requerimientos. La anchura de las bandas adyacentes para la relación entorno SR será igual como mínimo a la de un carril de tráfico recomendándose a ser posible 5 m de anchura.

[5] Los valores de luminancia dados pueden convertirse en valores de iluminancia, multiplicando los primeros por el coeficiente R (según C.I.E.) del pavimento utilizado, tomando un valor de 15 cuando éste no se conozca.

Imagen 11.- Tabla 4 del RD 1890/2008.

3.- OE2: Evaluación de la Luminancia con equipos estáticos y dinámicos.

El avance de la tecnología está permitiendo que trabajos antiguamente realizados de manera manual, puedan ser sustituidos por equipos de alto rendimiento. Éste es el caso de la medida de Luminancia, pudiendo ser evaluada por sistemas estáticos o sistemas dinámicos o de alto rendimiento.

Tal y como menciona la *"Guía técnica para la realización de medidas dinámicas de iluminancia y luminancia en instalaciones de alumbrado exterior",* CEI-IDAE, 2025, *"Las ventajas de los sistemas dinámicos son innegables, aportando seguridad en la correcta ejecución y operación del alumbrado público a todos los participantes en el proceso, tales como el proyectista, el instalador, y por supuesto, a la propiedad".*

3.1.- Medidas estáticas:

La medida estática de luminancia se realiza bien con un "*luminancímetro*" o bien con una *"cámara calibrada en luminancia" (ILMD: Imaging Luminance Measurement Device).* La realización de mediciones estáticas luminotécnicas debe realizarse en base a las normativas, instrucciones o recomendaciones existentes. La medida requiere un pavimento usado durante cierto tiempo, y un tramo recto de calzada de longitud aproximada de 250 m.

3.1.1.- Medidas con Luminancímetro estático:
Las medidas se realizarán:

- La medida deberá hacerse con luminancímetro, con un medidor de ángulo no mayor de 2' en la vertical, y entre 6' y 20' en la horizontal, con un rango de medida adecuado.
- Para la medida de la luminancia media se utilizará un luminancímetro integrador, con limitadores de campo que correspondan a la superficie a medir: 100 m de longitud por el ancho de los carriles de circulación. El punto de observación estará situado a 60 m antes del límite anterior de la zona de medida, y el luminancímetro estará situado a 1,5 m de altura y a 1/4 del ancho de la calzada, medido desde el límite exterior en el último carril.

Los requisitos específicos para estas mediciones de luminancia son:

- Para cada tipo de medidores de luminancia, debe considerarse la influencia de las fuentes de luz externas sobre el campo encuadrado.
- *El campo de cálculo especificado en la Norma EN 13201- 3 comienza de 60 m del observador. Esto significa que para prevenir la superposición de las áreas de medición como se ve a través de un medidor de luminancia fijado a esta distancia, el valor máximo del ángulo del cono de medición.*
  El valor mínimo del ángulo subtendido considera una agudeza visual convencional de 1 min de arco.
  Si la medición se lleva a cabo a una distancia más cercana respecto a las posiciones nominales del observador dadas en la Norma EN 13201-3, se recomienda que el cono de medición del medidor de luminancia no debería exceder de 30 min de arco, y el tamaño del área de medición de la carretera no debería ser mayor de 0,5 m transversalmente y 2,5 m longitudinalmente.

La razón de estas especificaciones anteriores se basa en **que las dimensiones de los spots sean tales que midan toda la superficie posible sin llegar a superponerse.**

Así, si utilizamos un ángulo de medida superior a lo que debería ser, se superpondrían las zonas de medida, tal y como se observa en la imagen siguiente.

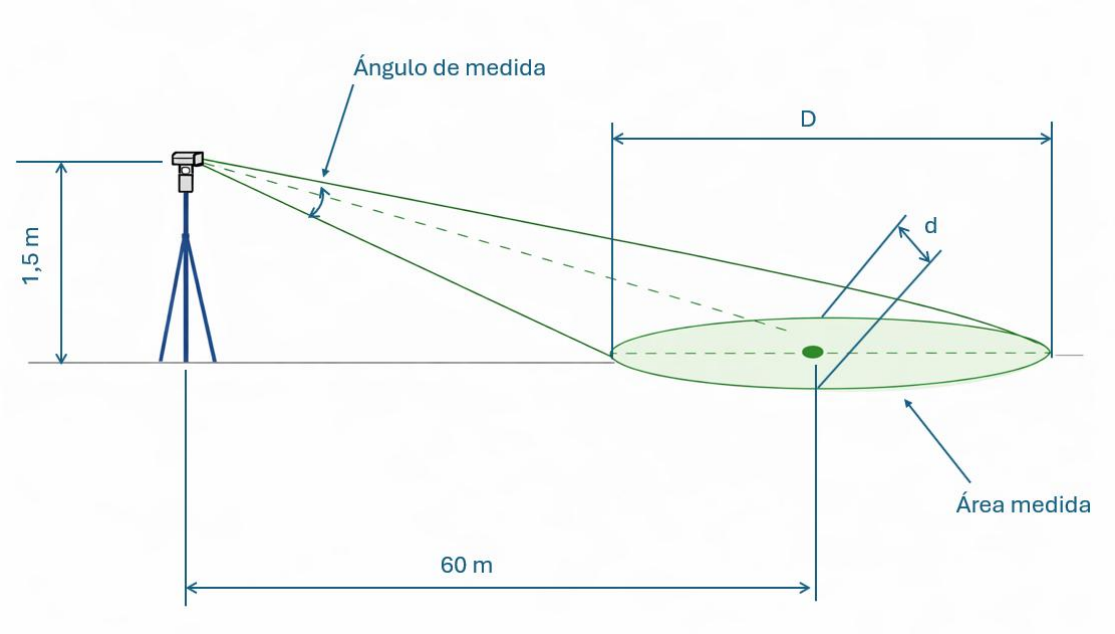


Imagen 12.- Representación de los ángulos y spots para la medida de Luminancia según EN-13201-4.

Si comparamos el primer punto de medida de una rejilla medido con la configuración angular indicada en la norma y con otro luminancímetro con un ángulo de medida de un tercio de grado (20'), se observa la enorme diferencia en el área medida:

Ángulo de medida	*D*	*d*	*Área medida*
2'	*1.40 m*	*0.35 m*	*0.38 m^2*
20'	*14.16 m*	*0.35 m*	*15.57 m^2*

Para cumplir con los ángulos máximos y mantener la geometría de medida, se tendrá que acercar el equipo de medida a la rejilla. *Para este luminancímetro en particular, la primera limitación que se tiene que cumplir es la distancia longitudinal.*

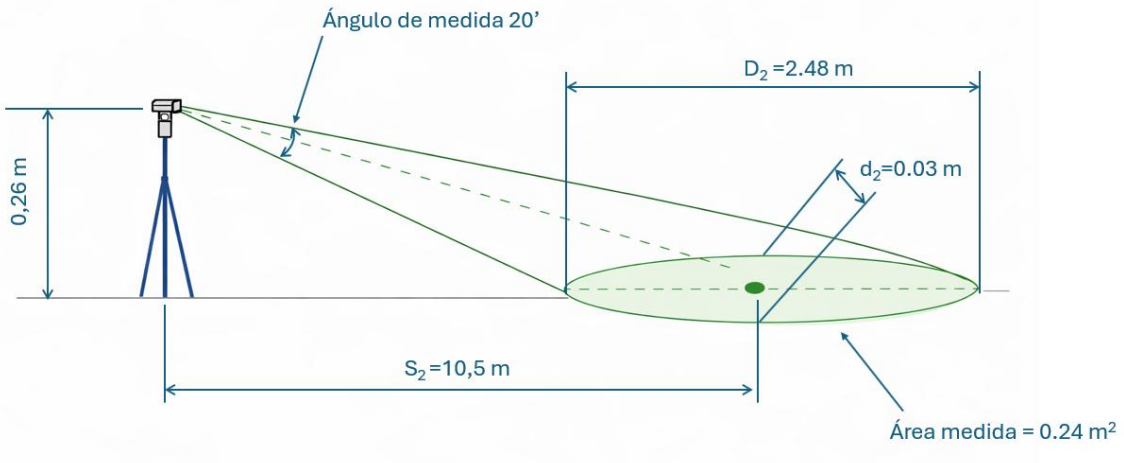




Imagen 13.- Ejemplo de medidas de luminancias puntuales con luminancímetros manuales.

3.1.2.- Medidas con ILMD:
Tanto para medidas de luminancia media como para medidas de luminancia puntual es posible el uso de una ILMD. Esta medida tiene la ventaja de realizar una única medición por rejilla utilizando para ello una única imagen, mientras que por contra es necesario un software específico para la delimitación de la rejilla en la imagen y la extracción de los puntos de medida.

3.2.- Medidas dinámicas:
La medida de luminancia dinámica consiste en la instalación de una o más ILMD en un vehículo para que capturen imágenes de la vía según se desplaza, la cámara debe estar calibrada en luminancia y tomar las imágenes a la geometría descrita de la vía marcada por la norma (“UNE-EN 13201 parte 3 y parte 4:2016: Iluminación en carreteras”).

Las imágenes tomadas deben ser tratadas para localizar la rejilla de medida y las superficies de medición, al igual que ocurre en la medida de luminancia estática con ILMD. Esta cámara calibrada en luminancia estará situada de forma que respete la geometría de 60 metros de distancia frente a 1,5 metros de altura.

Se definen las siguientes características exigibles en un sistema dinámico de luminancia:

- Deberá ser capaz de realizar estas mediciones a la velocidad permitida de la vía, sin interrupción del tráfico ni cortes de carril.
- Los ILMD deben cumplir las mismas especificaciones técnicas de los luminancímetros estáticos, descritas en el apartado descripción de medición de luminancia con métodos estáticos, prestando atención a la velocidad de exactitud los resultados y evitar la falta de posiciona- miento en situaciones como túneles o donde exista el efecto “cañones urbanos”.
- La distancia máxima a lo largo de la cual los sensores realicen las mediciones (durante el tiempo de adquisición) no debe ser mayor de 10 metros.

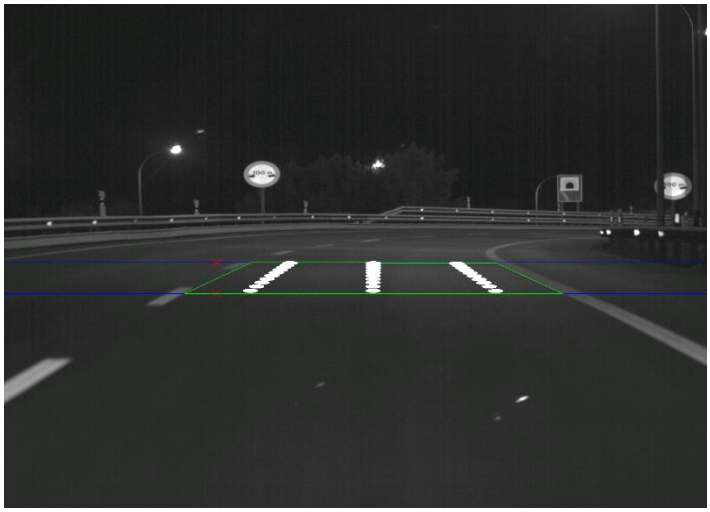


Imagen 14.- Rejilla virtual que se dibuja con los sistemas de alto rendimiento para medir Luminancia.

4.- OE3: Evaluación de la Luminancia en zonas curvas.

Existen situaciones en las que es complicado medir Luminancia según indica las normativas aplicables (*"UNE-EN-13201-4: Iluminación de carreteras. Parte 4 Métodos de medida de las prestaciones de iluminación"):* **No se podrá realizar la medida de Luminancia en aquellas situaciones en las que la geometría de la calzada no lo permita (curvas cerradas, fuertes pendientes,…),** debido a que en estas situaciones no será posible evaluar la Luminancia según normativa (a una altura de 1,5 metros para visualizar la malla virtual sobre el asfalto a una distancia de 60 metros).

En estos casos (cuando no sea posible medir a una altura de 1,5 metros para visualizar la malla virtual sobre el asfalto a una distancia de 60 metros), se podría estimar el valor de Luminancia midiendo el valor de iluminancia en ese tramo de vía donde no es posible medir Luminancia y dividir por el valor del "coeficiente R = 15", según define la ya mostrada *"Tabla 3 y 4 del RD 1890/2008"*. Sin embargo, esta aproximación que propone el *RD 1890/2008* no es del todo fiable porque no se puede extender que el coeficiente R sea siempre igual a 15.

Destacar que este factor de conversión entre iluminancia y luminancia (R ≈ 15) procede del valor típico del coeficiente de luminancia medio "$q_0 \approx 0.07 sr^{-1}$ "para pavimentos asfálticos estándar (clase R3), definido en la publicación *"CIE 30-2:1982 (Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting)".* Este valor ha sido posteriormente confirmado en *"CIE 144:2001"* y adoptado en la norma *"EN 13201",* lo que justifica su uso como aproximación en reglamentación como el *"RD 1890/2008".* **La clave de todo ello es asegurar que el pavimento de esa zona curva que estamos analizando se comporte como "clase R3".** Y es que la CIE divide los pavimentos en cuatro tipos principales según sus características reflectantes:

- Tipo R1 (Superficie lisa): Pavimentos de hormigón (concreto) o asfalto con áridos claros. Tienen una alta reflexión especular (brillo), lo que significa que reflejan la luz como un espejo, especialmente cuando están mojados.
- Tipo R2 y R3 (Superficies rugosas): Pavimentos asfálticos convencionales. Presentan una mezcla de reflexión difusa y especular. Son los más comunes en carreteras.
- Tipo R4 (Superficie muy rugosa): Asfalto rugoso o envejecido. Tienen una baja reflexión especular y una alta reflexión difusa, lo que reduce el deslumbramiento pero requiere mayor iluminación para alcanzar la misma



Imagen 15.- Ejemplo de la misma carretera con la misma iluminación (iluminancia), pero con diferentes asfaltos lo cual supone diferentes coeficientes R y diferentes valores de Luminancia.

Es por ello (el no poder asegurar que ese pavimento se comporta como clase R3), en estos casos en los que no es posible medir Luminancia en ese tramo, la aproximación del cálculo de este parámetro más técnica sería la de primeramente evaluar dinámicamente la iluminancia y Luminancia en el tramo inmediatamente anterior en el que sí es posible medir Luminancia, calcular el "factor R del pavimento" con estas mediciones dinámicas, y posteriormente medir dinámicamente iluminancia en el tramo curvo para, finalmente, **estimar el valor de Luminancia con el valor de iluminancia medido en ese tramo curvo y el factor R calculado para ese pavimento concreto**.

Cabe mencionar también que el RD 1890/2008 define que hay zonas especiales en las que los valores de Luminancia a tener en cuenta deben ser especiales. Así el apartado *"2.3 Niveles de iluminación de zonas especiales de viales"* define cuáles deben ser estos valores, pero no define cómo se deben medir:

> ***"****Una zona de un vial se considera especial debido a los problemas específicos de visión y maniobras que tienen que realizar los vehículos que circulan por ella, tales como enlaces e intersecciones, glorietas y rotondas, zonas de reducción del número de carriles o disminución del ancho de la calzada, curvas y viales sinuosos en pendiente, zonas de incorporación de nuevos carriles, o pasos inferiores. Para dichos espacios se tendrá en cuenta, por orden de prelación, los siguientes criterios:*
> *a) Criterio de luminancia*
> *Si la zona especial es parte de una vía de tipo A o B, se aplicarán los niveles basados en la luminancia de la superficie de la calzada de las series ME de la tabla 6, de forma que, para la zona especial, la clase de alumbrado que se establezca será un grado superior al de la vía a la que corresponde dicho espacio. Si confluyen varias vías en una zona especial, tal y como puede suceder en los cruces, la clase de alumbrado será un grado superior al de la vía que tenga la clase de alumbrado más elevada.*

Por todo ello, para estas zonas especiales, se ha definido esta manera de estimar el valor de Luminancia, lo más cercana posible a la realidad de ese pavimento.

5.- OE4: Variación de la Luminancia según el factor R.

Como ya se ha mencionado en el apartado anterior, el valor del coeficiente R es muy importante a la hora de entender por qué a igualdad de iluminancia en dos tramos de vías, el valor de Luminancia sea diferente.

A continuación, se muestran los valores de un estudio que se realizó para el "Servicio Provincial de la Energía de la Diputación de Soria" en 2021 en el que se evaluó dinámicante la Luminancia en las travesías de determinados municipios de Soria (Ólvega, San Esteban de Gormaz, Ágreda,…) con el sistema de alto rendimiento "ILLUMETRIC" de AMAC Europa S.L y utilizando los valores de una rejilla de luminancia desplazada en intervalos de 5 metros a lo largo de cada carril, para así obtener la curva real de cada uno de los carriles por sentido, aportando además los valores de Luminancia media (Lm), Luminancia mínima, Luminancia máxima, Uniformidad global (Uo) y Uniformidad longitudinal (U_L).



Imagen 16.- Cámara calibrada en Luminancia (ILMD) en el sistema ILLUMETRIC para poder evaluar este parámetro sobre una rejilla deslizante.



Imagen 17.- Imagen real obtenida por Illumetic en la auscultación simultánea de luminancia e iluminancia en San Esteban de Gormaz, Soria.

A continuación, se detallan el tipo de resultados que se obtuvieron:

- Gráfica de los valores continuos de Luminancia en cada uno de los sentidos de la vía: La imagen siguiente muestra un ejemplo de medida de L en un tramo en el que existían dos disposiciones de luminarias (bilateral desplazada y lateral).

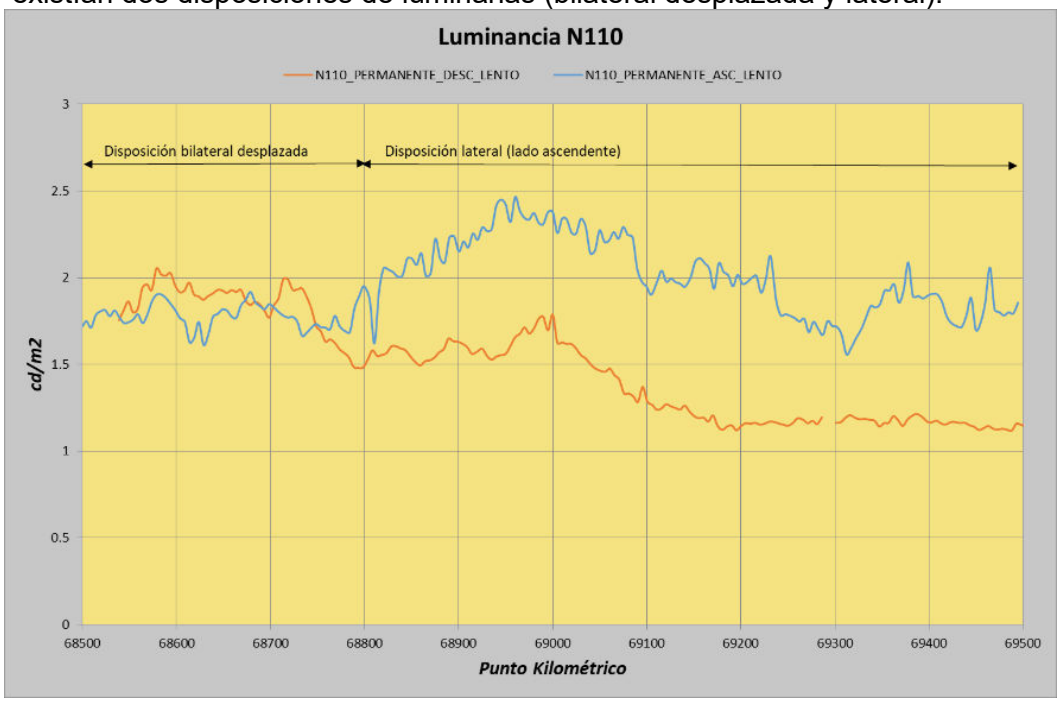




Imagen 18.- Ejemplo de gráfica de la medida dinámica y continua de Luminancia con el sistema ILLUMETRIC en los dos sentidos de la travesía N-110 en San Esteban de Gormaz, en el que el tipo de disposición de luminarias es “bilateral desplazada o tresbolillo” (hasta el cruce con calle Tripero o punto kilométrico 68,800) y “lateral” (Fuente: AMAC Europa & Google Earth).

- Al haber evaluado simultáneamente la iluminancia y luminancia en estas vías concretas, se pudo calcular el valor real del coeficiente R (según C.I.E.) del pavimento utilizado.

  A modo de ejemplo y para el caso concreto de la vía mostrada anteriormente, se analizaron los valores de E y de L evaluados en una determinada zona de esta vía (mostrada en las imágenes anteriores). En un sentido, el valor de la iluminancia media en esta zona elegida fue de 19,34 lux y el valor de luminancia fue de 1,60 cd/m^2, por lo que el valor de R fue 12,09; mientras que en el sentido contrario la iluminancia media en esa misma zona elegida fue de 22,28 lux y el valor de luminancia fue de 2,34 cd/m^2, por lo que el valor de R fue 9,52. Se concluye de este análisis que, primeramente, estos valores reales de R no coinciden con los valores teóricos (R = 15) que se suele considerar cuando éste se desconoce (RD 1890/2008) y se presupone que el pavimento de esa vía es un “clase R3” como se mencionó en el apartado anterior, y por otro lado que incluso en la misma vía, los valores no son los mismos.

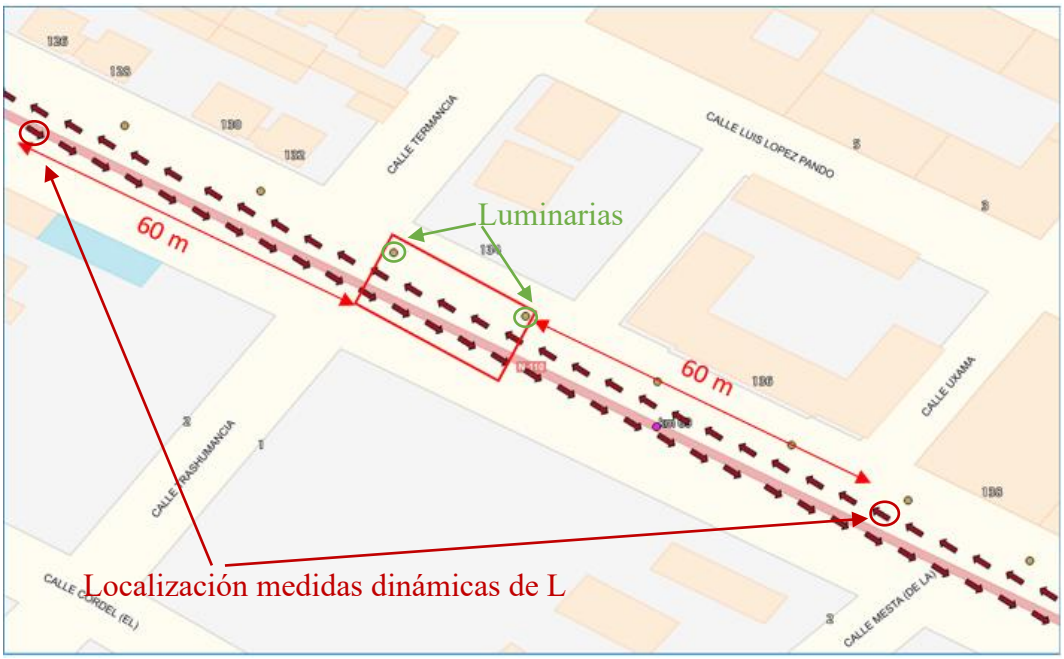


Imagen 19.- Zona elegida (recuadro rojo) para calcular el valor real coeficiente R mediante los valores de E (iluminancia) y L (Luminancia) medidos por el sistema Illumetric. Medida de luminancia.

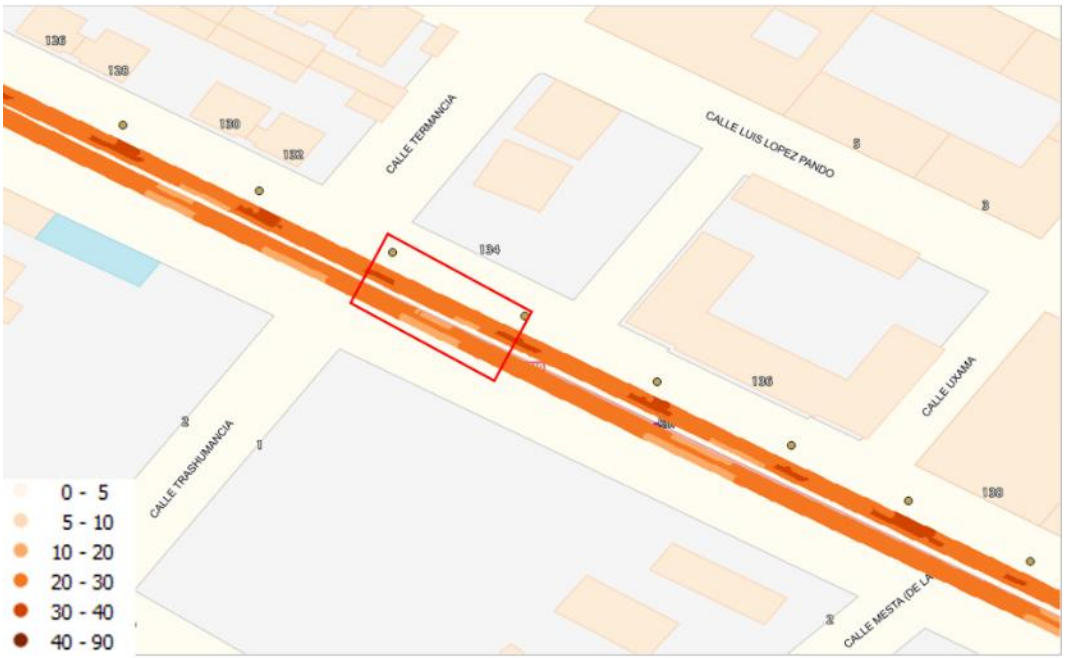


Imagen 20.- Zona elegida (recuadro rojo) para calcular el valor real coeficiente R mediante los valores de E (iluminancia) y L (Luminancia) medidos por el sistema Illumetric. Medida de iluminancia

- Por último, los valores reales de L se pueden utilizar para compararlos con los valores teóricos máximos que se desprenden del RD 1890/2008 y tener catalogada el tipo de vía: ME4b/ME5/ME6.

6.- Conclusiones

El objeto de esta ponencia ha sido el ayudar a los técnicos y personas relacionadas con el desarrollo y puesta en uso de las instalaciones de alumbrado exterior, en la aplicación e interpretación clara de la obligatoriedad de evaluar “Luminancia” en determinadas vías. Así, se han analizado los siguientes objetivos específicos:

- Objetivo Específico - OE1:
  - Se ha detallado la interpretación física de este parámetro.
  - Se ha incidido cuándo es obligatorio medir este parámetro.
- Objetivo Específico – OE2:
  - Se ha descrito cómo se mide este parámetro con equipos estáticos y equipos dinámicos.
- Objetivo Específico – OE3:
  - Se ha detallado cómo se puede medir este parámetro en zonas curvas en las que no existe suficiente distancia recta a la cual se debe medir este parámetro.
- Objetivo Específico – OE4:
  - Finalmente, se ha analizado cómo el coeficiente R a igualdad de valores de iluminancia, afecta al valor de luminancia, con lo que podría suponer en la certificación final de una instalación.