



XLIX Simposium Nacional de Alumbrado

Instrumentos para auditorías luminotécnicas. Más allá de solo medir lux

Marc Ballbè Chaler
Asselum Luminotècnics



Índice

00

Introducción

Describe the topic of
the section here

01

La iluminancia

Para medir la
iluminancia tenemos el
luxómetro entre otros

02

La luminancia

Para medir la
luminancia utilizamos
los luminancímetros

03

El SPD

Para analizar el color y la
distribución espectral utilizamos
el espectroradiómetro

Pero antes tenemos que hacernos dos preguntas.

- Qué es la luz?
- Qué son las unidades fotométricas?



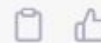
Qué es la luz?



Me podrías definir qué es la luz?



La luz es una forma de energía electromagnética que se transmite en ondas y que es capaz de ser percibida por el ojo humano y por algunos otros organismos como los animales. Se trata de una forma de radiación que se mueve a través del espacio a una velocidad constante de aproximadamente 299,792,458 metros por segundo en el vacío.



Qué es la luz?

ILV: VOCABULARIO INTERNACIONAL DE ILUMINACIÓN. CIE S 017

- 1- Característica de todas las sensaciones y percepciones que es específica de la visión.
- 2- Radiación que se considera desde el punto de vista de su habilidad de excitar el sistema visual humano.



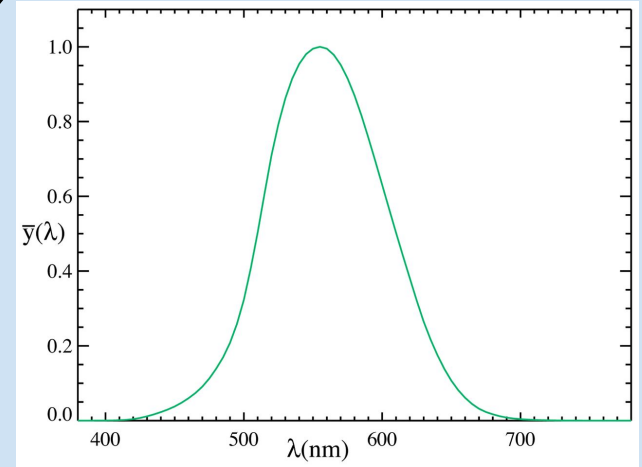
International Commission on Illumination
Commission Internationale de l'Eclairage
Internationale Beleuchtungskommission

Qué son las unidades fotométricas?

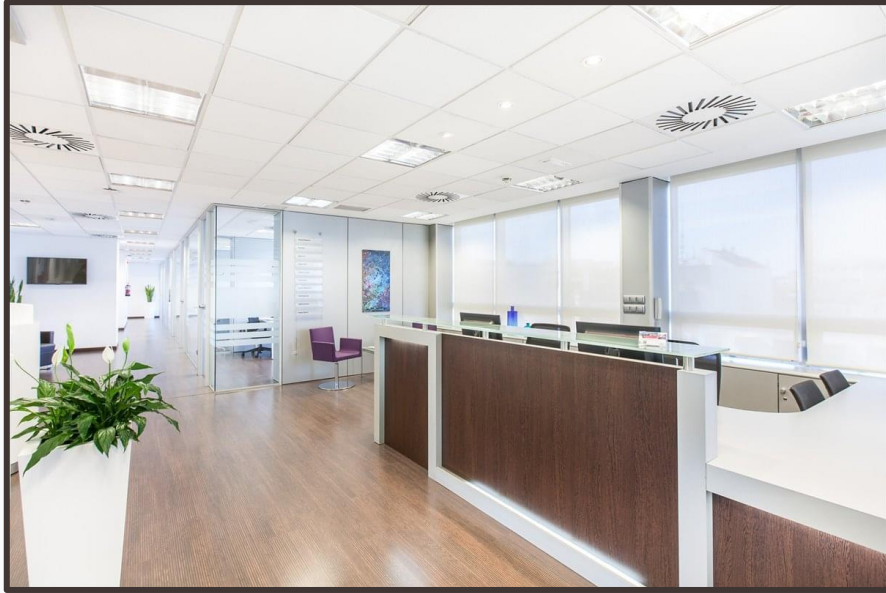
La función de eficiencia luminosa representa la sensibilidad espectral promedio de la percepción visual humana de la luz .

Esta función es diferente dependiendo de que el ojo se encuentre adaptado a condiciones de niveles altos o medios de luminancias (**visión fotópica**) o de bajas o muy bajas luminancias (**visión escotópica**).

La función de eficiencia luminosa fotópica definida por CIE designada como $V(\lambda)$ es una función estándar establecida por (CIE) y estandarizada por ISO y se puede utilizar para convertir unidades de energía en unidades fotométrías (es decir, luz visible).



Eficiencia luminosa espectral fotópica para un observador estándar según CIE 1924



01

La iluminancia

La iluminancia es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área..

Magnitud: Iluminancia

Unidad: lux

Símbolo: lx

$$E_v = K_m \int_{380}^{780} E_e \cdot V(\lambda) d\lambda$$

Aplicaciones de la iluminancia

Iluminación interior según UNE EN 12464-1

Tabla 34 - Oficinas

Tipo de tarea/área de actividad	E_m lx		U_o	R_a	R_{OGL}	$E_{m,z}$ lx	$E_{m,wall}$ lx	$E_{m,ceiling}$ lx
	requerido ^a	modificado ^b						
archivo, copias, etc.	300	500	0,40	80	19	100	100	75

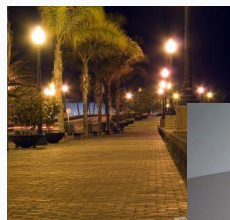


Iluminación exterior según REAL DECRETO 1890/2008

Clase de Alumbrado ⁽¹⁾	Iluminancia horizontal	
	Iluminancia Media E_m (lux) [mínima mantenida ⁽²⁾]	Uniformidad Media U_m [mínima]
CE0	50	0,40
CE1	30	0,40

Tabla 3.- Limitaciones de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior

Parámetros lumínicos	Valores máximos			
	Observatorios astronómicos y parques naturales E1	Zonas periurbanas y áreas rurales E2	Zonas urbanas residenciales E3	Centros urbanos y áreas comerciales E4
Iluminancia vertical (E_v)	2 lux	5 lux	10 lux	25 lux
Intensidad luminosa				



Fuente: lumínica Ambiental

Iluminación deportiva según UNE EN 12193

Clase	Iluminancia horizontal	
	E_{med} lux	E_{min} / E_{med}
I	500	0,7
II	200	0,6
III	75	0,5



Luxómetro

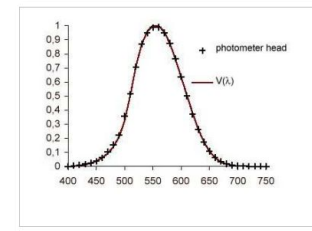
Para medir la iluminancia (I_x) se utiliza un **luxómetro**. El equipo está compuesto por un sensor fotoeléctrico. La luz incide sobre un elemento fotosensible compuesto por silicio (material semiconductor fotovoltaico) el cual genera una corriente eléctrica lo que permite medir mediante circuito electrónico.



Criterios técnicos de elección de un luxómetro

Características Sistema Fotocélula – Luxómetro (Según EN 13032 - CIE 69 - DIN 5032/6)

■ Diámetro Área de Adquisición	8 mm
■ Error de Calibración u_{cal}	< 1%
■ Correspondencia a la Curva $V(\lambda)$ f_1	< 1,5%
■ Error de Respuesta Direccional f_2	< 1%
■ Error de Linealidad f_3	< 0,1%
■ Error Unidad Display f_4	< 0,1%
■ Fatiga f_5 (medida a 1 klx)	< 0,1%
■ Luz Modulada f_7	< 0,1%
■ Polarización f_8	< 1%
■ Error Cambio Escala f_{11}	< 0,1%
■ Coeficiente de Temperatura α_{25}	0,1%/K (L)-0,2%/K (A)
■ Sensibilidad a los UV (u)	< 0,01%
■ Sensibilidad a los IR (r)	< 0,01%
■ Característica General f_{ges}	< 3%
■ Periodo de Integración a 50 Hz	20-200 ms
■ Periodo de Calibración	2 años



Criterios técnicos de elección de un luxómetro

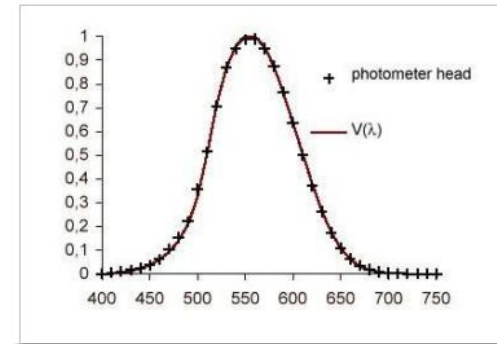
Correspondencia a la Curva $V(\lambda)$ f_1'

La sensibilidad espectral del receptor debe corresponder a la sensibilidad espectral normalizada del ojo humano $V(\lambda)$. Esto asegura que el instrumento evalúa el brillo como se percibe por el ojo humano.

Características Sistema Fotocélula – Luxómetro (Según EN 13032 - CIE 69 - DIN 5032/6)

■ Diámetro Área de Adquisición	8 mm
■ Error de Calibración u_{cal}	< 1%
■ Correspondencia a la Curva $V(\lambda)$ f_1'	< 1,5%
■ Error de Respuesta Direccional f_2	< 1%
■ Error de Linealidad f_3	< 0,1%
■ Error Unidad Display f_4	< 0,1%
■ Fatiga f_5 (medida a 1 klx)	< 0,1%
■ Luz Modulada f_7	< 0,1%

$$f_1' = \frac{\int_0^{\infty} |s_{rel}^*(\lambda) - V(\lambda)| d\lambda}{\int_0^{\infty} V(\lambda) d\lambda}$$



Por qué distintos luxómetros calibrados miden diferente?



10,2 lx



8,4 lx

Ref. 10 lx



12,6 lx



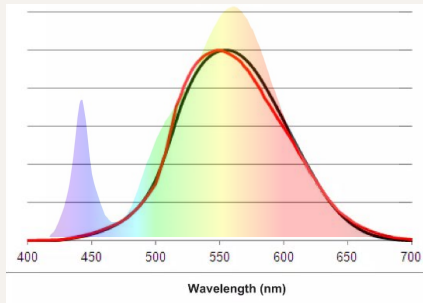
11,3 lx

Criterios técnicos de elección de un luxómetro

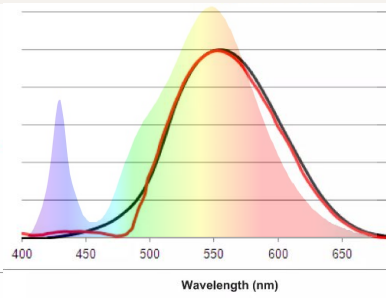
Ejemplos de respuestas espectrales de distintos luxómetros

■ Curva de respuesta espectral de referencia $V(\lambda)$

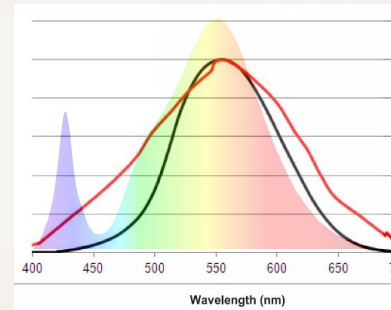
■ Sensibilidad espectral del luxómetro analizado



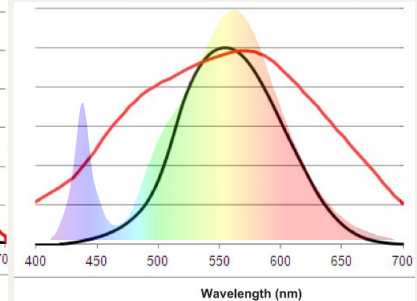
Luxómetro 1



Luxómetro 2



Luxómetro 3



Luxómetro 4

Criterios técnicos de elección de un luxómetro

Características Sistema Fotocélula – Luxómetro (Según EN 13032 - CIE 69 - DIN 5032/6)

Diámetro Área de Adquisición	8 mm
Error de Calibración u_{cal}	< 1%
Correspondencia a la Curva $V(\lambda)$ f_1	< 1,5%
Error de Respuesta Direccional f_2	< 1%
Error de Linealidad f_3	< 0,1%
Error Unidad Display f_4	< 0,1%

Índice de Respuesta Direccional f_2

El receptor del luxómetro toma en consideración que la iluminancia medida en un plano es proporcional al coseno del ángulo de incidencia de la luz. La iluminancia es mayor en el caso de la luz incidente vertical, y la iluminancia es 0 con un ángulo de luz incidente de 90°.

$$f_2(\varepsilon, \varphi) = \frac{Y(\varepsilon, \varphi)}{Y(0, \varphi) \times \cos \varepsilon} - 1$$

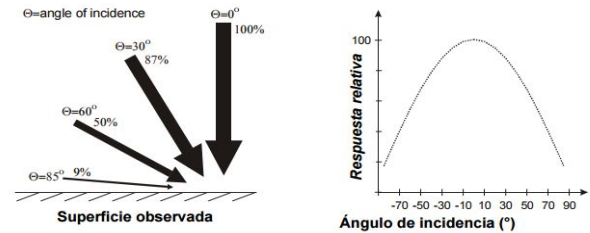
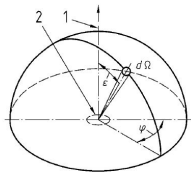


Figura 108: Corrección del coseno

Criterios técnicos de elección de un luxómetro

Características Sistema Focélula – Luxómetro (Según EN 13032 - CIE 69 - DIN 5032/6)

■ Diámetro Área de Adquisición	8 mm
■ Error de Calibración u_{cal}	< 1%
■ Correspondencia a la Curva $V(\lambda)$ f_1	< 1,5%
■ Error de Respuesta Direccional f_2	< 1%
■ Error de Linearidad f_3	< 0,1%
■ Error Unidad Display f_4	< 0,1%
■ Fatiga f_5 (medida a 1 klx)	< 0,1%
■ Luz Modulada f_7	< 0,1%
■ Polarización f_8	< 1%
■ Error Cambio Escala f_{11}	< 0,1%
■ Coeficiente de Temperatura α_{25}	0,1%/K (L) > 0,2%/K (A)
■ Sensibilidad a los UV (u)	< 0,01%
■ Sensibilidad a los IR (r)	< 0,01%
■ Característica General f_{ges}	< 3%
■ Periodo de Integración a 50 Hz	20-200 ms
■ Periodo de Calibración	2 años

Error de cambio de escala f11

Error de ajuste es un error sistemático que se produce cuando tiene lugar la conmutación de un rango de medición a otro y cambia el valor de la pantalla. La causa de este error es por lo general una falta de atención en el equilibrio en los rangos de medición individuales.

Criterios técnicos de elección de un luxómetro

Características Sistema Fococélula – Luxómetro (Según EN 13032 - CIE 69 - DIN 5032/6)

Diámetro Área de Adquisición	8 mm
Error de Calibración u_{cal}	< 1%
Correspondencia a la Curva $V(\lambda)$ f_1	< 1,5%
Error de Respuesta Direccional f_2	< 1%
Error de Linearidad f_3	< 0,1%
Error Unidad Display f_4	< 0,1%
Fatiga f_5 (medida a 1 klx)	< 0,1%
Luz Modulada f_7	< 0,1%
Polarización f_8	< 1%
Error Cambio Escala f_{11}	< 0,1%
Coefficiente de Temperatura α_{25}	0,1%/K (L) > 0,2%/K (A)
Sensibilidad a los UV (u)	< 0,01%
Sensibilidad a los IR (r)	< 0,01%
Característica General f_{ges}	< 3%
Periodo de Integración a 50 Hz	20-200 ms
Periodo de Calibración	2 años

Error de sensibilidad a la radiación UV y IR

Los fotómetros no serán sensibles a la radiación ultravioleta ni infrarroja. El error de sensibilidad UV e IR puede deberse a un mal bloqueo en la banda UV o IR no perfecto.

Criterios técnicos de elección de un luxómetro

Características Sistema Focélula – Luxómetro (Según EN 13032 - CIE 69 - DIN 5032/6)

▪ Diámetro Área de Adquisición	8 mm
▪ Error de Calibración u_{cal}	< 1%
▪ Correspondencia a la Curva $V(\lambda)$ f_1	< 1,5%
▪ Error de Respuesta Direccional f_2	< 1%
▪ Error de Linearidad f_3	< 0,1%
▪ Error Unidad Display f_4	< 0,1%
▪ Fatiga f_5 (medida a 1 klx)	< 0,1%
▪ Luz Modulada f_7	< 0,1%
▪ Polarización f_8	< 1%
▪ Error Cambio Escala f_{11}	< 0,1%
▪ Coeficiente de Temperatura α_{25}	0,1%/K (L)-0,2%/K (A)
▪ Sensibilidad a los UV (u)	< 0,01%
▪ Sensibilidad a los IR (r)	< 0,01%
▪ Característica General f_{ges}	< 3%
▪ Periodo de Integración a 50 Hz	20-200 ms
▪ Periodo de Calibración	2 años

Error total

Es para el error total de la suma de todos los errores individuales permisibles e incluye la incertidumbre de medición de la norma utilizada para la calibración.

Ejemplos de criterios técnicos de elección de un luxómetro

Parámetro	DIN 5032 – 7 Clase B	DIN 5032 – 7 Clase C
Correspondencia a la función $V(\lambda)$	6%	9%
Respuesta ultravioleta	2%	4%
Respuesta infrarroja	2%	4%
Corrección del coseno	3%	6%
No linealidad	2%	5%
Fatiga	1%	2%
Cambio de temperatura	1% / grado K	2% / grado K
Luz modulada	0,5%	1%

DIN 5032 /7 Clasificaciones de la medición de la luz para los instrumentos de medición de iluminación y brillo.

Existen cuatro clases de medidores de iluminación según la normativa alemana DIN 5032: L, A, B y C. En las clases A, B y C se especifican los requisitos para los medidores de tipo F (instrumentos de campo) para la medición de la iluminación plana.

Ejemplos de fichas técnicas

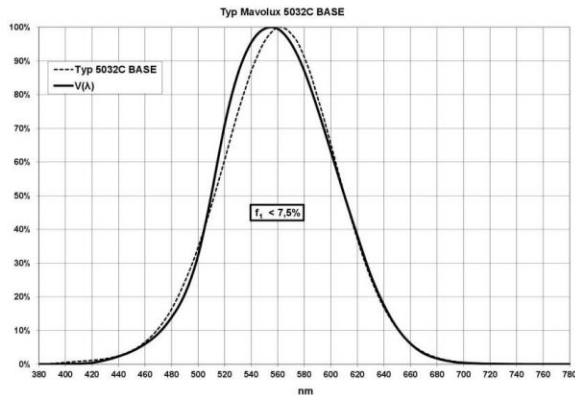


6 Spécifications techniques

Capteur de lumière photodiode au silicium avec filtre V (λ)

Classification classe C selon DIN 5032-7 / EN 13032-1 annexe B / CIE 69

Précision $\pm 3\% \pm 1$ digit de la valeur de mesure

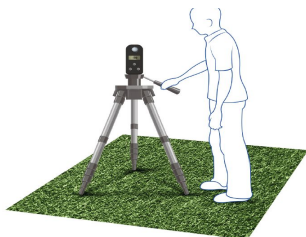


Limites d'erreur maximales sur MAVOLUX 5032C BASE

Caractéristique	Erreur admissible selon DIN 5032 classe C	Erreur maximale du MAVOLUX 5032C BASE
Correspondance V(λ) (f_1)	9%	$\leq 7,5\%$
Évaluation du cosinus vrai (f_2)	6%	$\leq 2,0\%$
Erreur de linéarité (f_3)	5%	$\leq 1,5\%$
Erreur d'ajustement (f_{11})	2%	$\leq 1,0\%$
Erreur totale (f_{tot})	20%	$\leq 15,0\%$

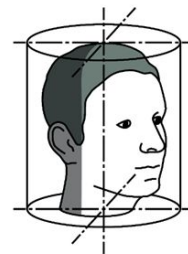
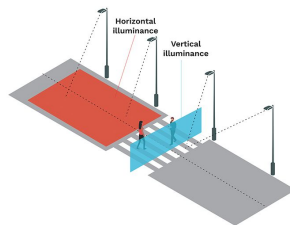
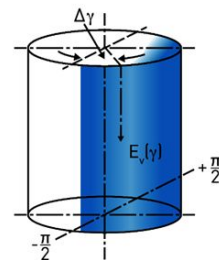
Variantes de un luxómetro

Iluminancias verticales



© Copyright Asselum Luminotecnica S.L.

Iluminancias semi-cilíndricas



Iluminancias cilíndricas





02

La luminancia

La luminancia de una fuente extensa es el flujo luminoso emitido en una dirección por unidad de ángulo sólido y unidad de área proyectada sobre la dirección de observación.

Magnitud: luminancia

Unidad: candela por metro cuadrado

Símbol: cd/m²

$$L_v = K_m \int_{380}^{780} L_e \cdot V(\lambda) d\lambda$$

Aplicaciones de la luminancia

Iluminación exterior según RD 1890



Clase de Alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador		Iluminación de alrededores	
	Luminancia ⁹⁰ Media L_m (cd/m ²) ¹⁰	Uniformidad Global U_g [mínima]	Uniformidad Longitudinal U_l [mínima]	Incremento Umbral Tl (%)(¹¹) [máximo]	Relación Entorno SR^{10} [mínima]		
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50		
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50		

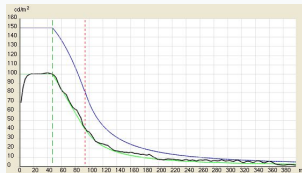
Contaminación luminosa



Tabla 13 – Niveles de luminancia máxima de señales y anuncios luminosos.

Superficie (m ²)	Luminancia Máxima (cd/m ²)
$S \leq 0,5$	1.000
$0,5 < S \leq 2$	800
$2 < S \leq 10$	600
$S > 10$	400

Iluminación de túneles según CIE 88



Medición del deslumbramiento

$$R_{UG} = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

$$TI = 65 \frac{L_v}{(L_m)^{0,8}} \text{ (en \%)}$$



Luminancímetro

El **luminancímetro** es un instrumento que permite medir la luminancia procedente de un determinado ángulo sólido sobre una superficie determinada.

La luminancia se puede determinar por medio de la medición de contacto en el caso de superficies autoluminosas o por medio de una medición de distancia en el caso de superficies autoluminosas o superficies iluminadas.



Criterios técnicos de elección de un luminancímetro



Sensibilidad espectral f_1'



Ángulo de medición o FOV



Tipos de luminancímetro y método de utilización

Criterios técnicos de elección de un luminancímetro

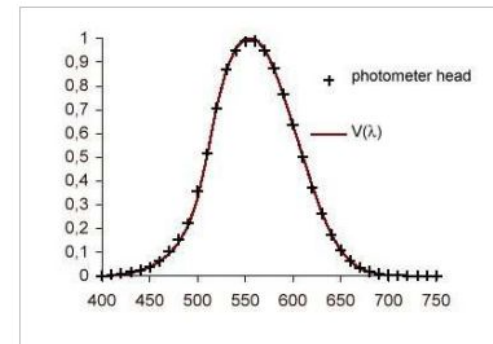
Correspondencia a la Curva $V(\lambda)$ f_1'

La sensibilidad espectral del receptor debe corresponder a la sensibilidad espectral normalizada del ojo humano $V(\lambda)$. Esto asegura que el instrumento evalúa el brillo como se percibe por el ojo humano.

Características Sistema Focélula – Luxómetro (Según EN 13032 - CIE 69 - DIN 5032/6)

■ Diámetro Área de Adquisición	8 mm
■ Error de Calibración u_{cal}	< 1%
■ Correspondencia a la Curva $V(\lambda)$ f_1'	< 1,5%
■ Error de Respuesta Direccional f_2	< 1%
■ Error de Linealidad f_3	< 0,1%
■ Error Unidad Display f_4	< 0,1%
■ Fatiga f_5 (medida a 1 klx)	< 0,1%
■ Luz Modulada f_7	< 0,1%

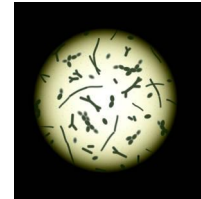
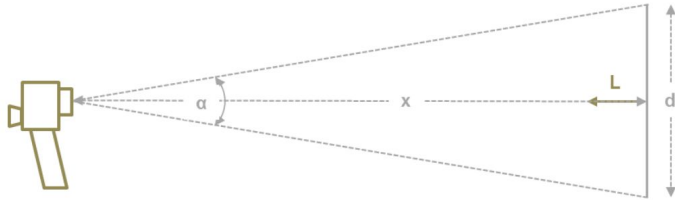
$$f_1' = \frac{\int_0^{\infty} |s_{rel}^*(\lambda) - V(\lambda)| d\lambda}{\int_0^{\infty} V(\lambda) d\lambda}$$



Criterios técnicos de elección de un luminancímetro

Ángulo de medición o FOV

El campo de visión o *Field Of View* (FOV) es el ángulo de observación del sistema óptico del instrumento que provoca una visión área aparente a una cierta distancia.

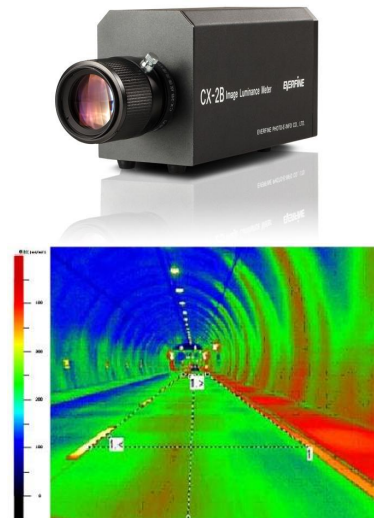


El diámetro d del círculo de medición es función del FOV α y la distancia x . Se puede expresar con siguiente función trigonométrica:

$$d = 2 * \tan (\alpha / 2) * x$$

Criterios técnicos de elección de un luminancímetro

Tipos de luminancímetros



Criterios técnicos de elección de un luminancímetro



Tipos de luminancímetros: Luminancímetro de contacto

Los luminancímetros de contacto disponen de un FOV muy amplio por lo que solo son precisos si se acerca el sensor a la superficie iluminada.



Nota: No es posible discretizar si se está midiendo zonas con de contrastes altos de luminancias.

Criterios técnicos de elección de un luminancímetro



Tipos de luminancímetros: Luminancímetro de FOV estrecho

Los luminancímetros de FOV estrecho normalmente 2° hasta $0,1^\circ$. Permiten una observación precisa de la área de medición a través de una mirilla.

La medición de luminancia se realiza dentro del área de visión. Si existe valores de luminancia diferentes del area, el resultado de la medición no es correcto si se busca un valor máximo.

Ejemplo de medición con un luminancímetro de Fov estrecho y variable

Medición luminancia máxima en fachada (La Sagrada Familia)

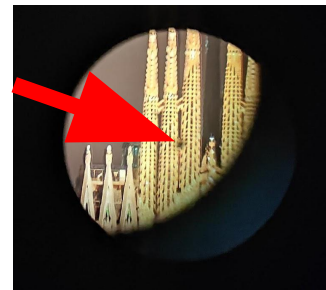
Con 2° a largas distancias no se puede medir con precisión la luminancia máxima.

Con $0,1^\circ$ a largas distancias se puede medir con precisión la luminancia máxima.

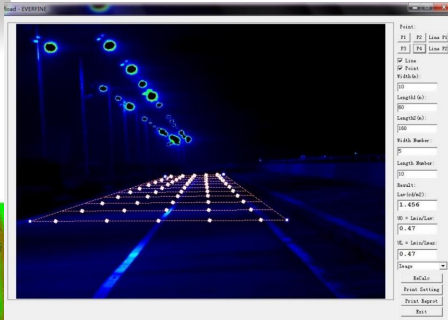
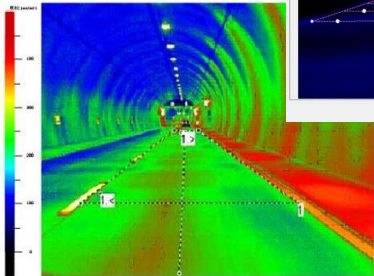


Mirilla

FOV Variable



Criterios técnicos de elección de un luminancímetro



Tipos de luminancímetros: Luminancímetro de cámara CCD

Medidor de luminancia con una matriz CCD como detector y puede realizar mediciones simultáneas de más de 1.000.000 de puntos mediante un muestreo único (perfecto para el análisis de pantallas y luminancias de carreteras y túneles)

Comparativa entre los distintos sistemas



Luminancímetro de contacto



Luminancímetro de FOV estrecho



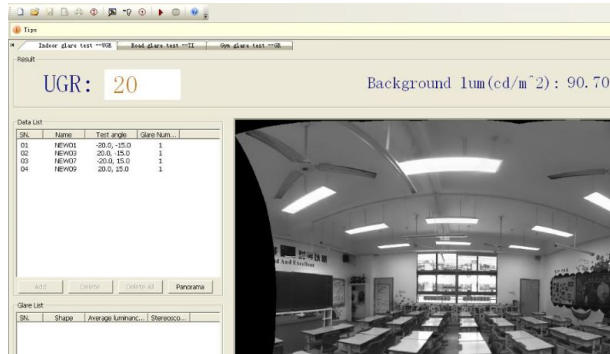
Luminancímetro de cámara CCD

Variantes de un luxómetro

Medidor de deslumbramiento



Índice unificado de deslumbramiento (UGR)



UGR: 20 Background lum (cd/m²): 90.70

SN	Name	Test angle	Glare Num.
01	NEW01	20.0, 15.0	1
02	NEW02	20.0, 15.0	1
03	NEW03	20.0, 15.0	1
04	NEW04	20.0, 15.0	1


Glare List

SN	Shape	Average luminanc...	Shadows...
1	NEW01	1552.9	0.3

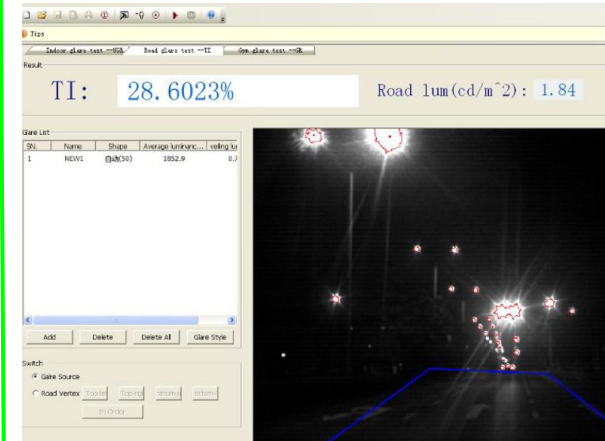
Buttons: Add, Delete, Delete All, Glare Style

Switch: Glare Source, Road Vertice

Buttons: Top-left, Top-right, Bottom-left, Bottom-right, On/Off



Deslumbramiento perturbador (TI)




TI: 28.6023% Road lum (cd/m²): 1.84

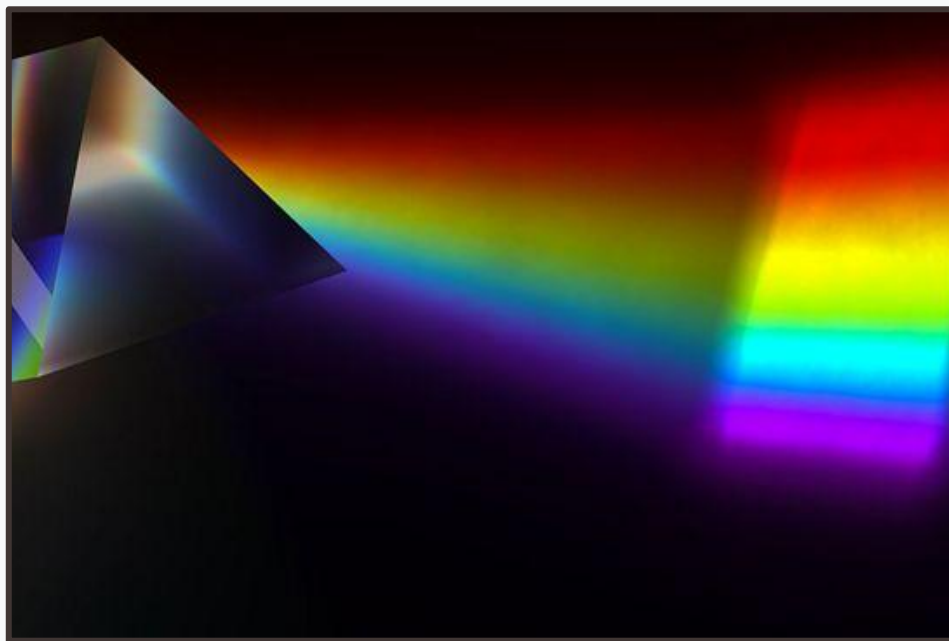
SN	Name	Shape	Average luminanc...	Veiling lu
1	NEW01	0x400	1552.9	0.3

Buttons: Add, Delete, Delete All, Glare Style

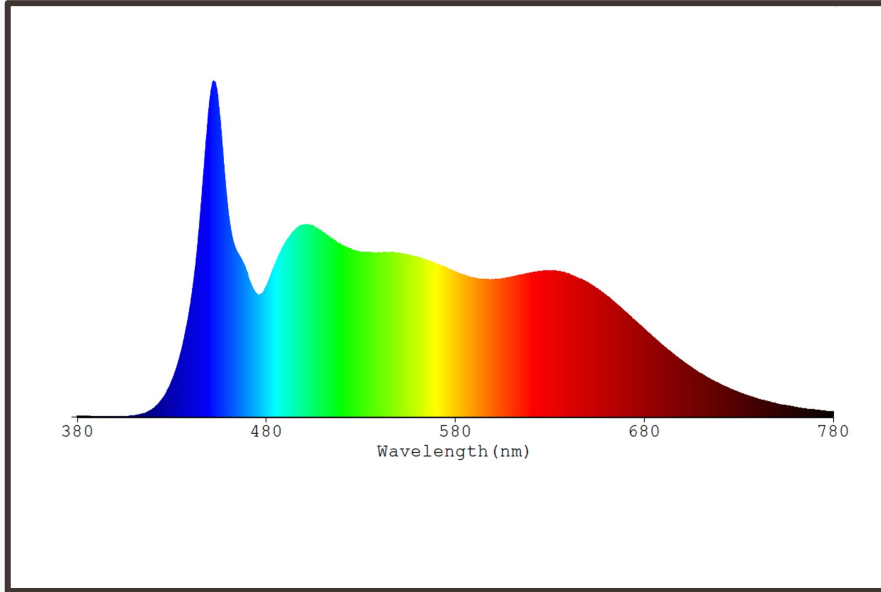
Switch: Glare Source, Road Vertice

Buttons: Top-left, Top-right, Bottom-left, Bottom-right, On/Off





**Con qué aparatos
podemos medir
el color?**



03

El SPD

La distribución de potencia espectral (SPD) se define como la cantidad de energía, en función de la longitud de onda, de cualquier cantidad radiométrica (por ejemplo , energía radiante , flujo radiante , intensidad radiante , radiancia , irradiancia , etc)



Aplicaciones del SPD

**Iluminación
Interior y exterior**



**Contaminación
luminosa**



**Iluminación de
Instalaciones
deportivas con
retransmisión
por TV**



**Human Centric
Lighting**



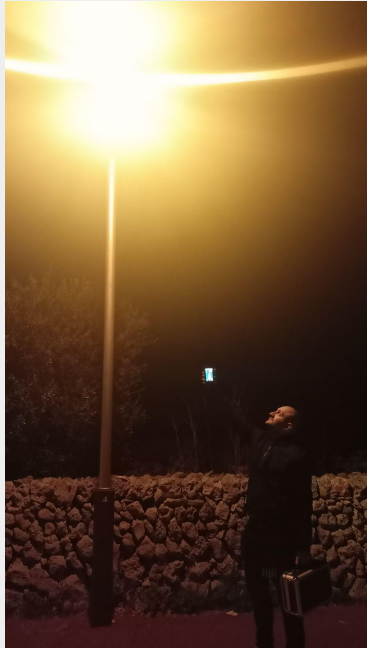
Espectroradiómetro

Los **espectroradiómetro** discriminan la longitud de onda en función de la posición en la que la luz incide en el conjunto de detectores, lo que permite obtener el espectro completo con una sola adquisición.

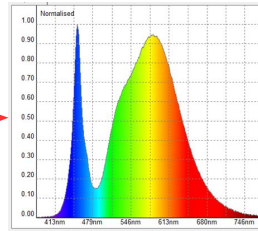
Gracias a la medición de espectro, es capaz de medir coordenadas cromáticas, temperatura de color y índice de reproducción cromática.



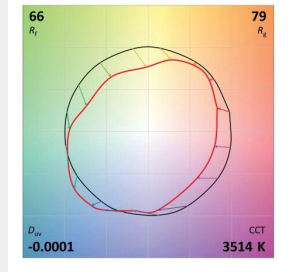
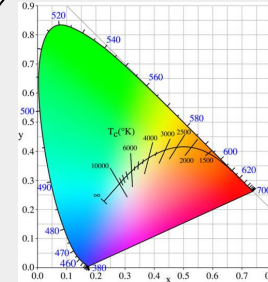
Espectroradiómetro



Medición IN SITU



Obtener el SPD



Calcular parametros de color y de fotometria



Zona luminica	Índice espectral G
E1, E2 y E3 insertas en E1	$G \geq 2,0$
E3	$G \geq 1,5$
E4	$G \geq 1,0$

Análisis espectral de la fuente de luz

Criterios técnicos de elección de un espectroradiómetro



Rango de longitud de onda (WL). EJ: 380 nm - 780 nm



Rango de medicion. EJ: 1 - 100 000 lux



Ancho de banda óptico. EJ: 4 - 5 nm



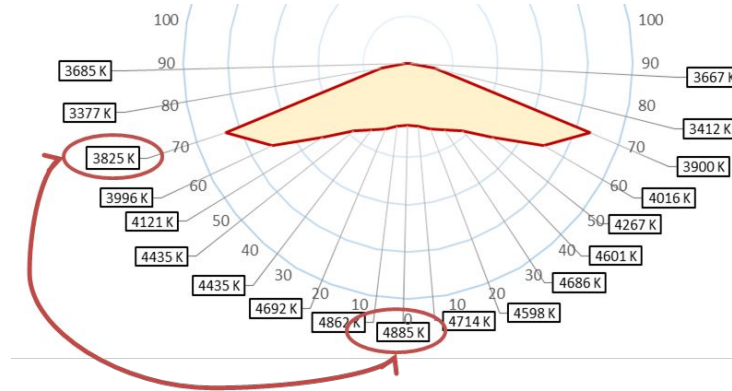
Resolución WL. EJ: 1 nm



Precisión. EJ: 2% en CCT, 3% en iluminancia

Particularidades en la medición INSITU

El color de un sistema LED no es siempre uniforme angularmente



-Variación en el índice espectral G: :Según los métodos de medición

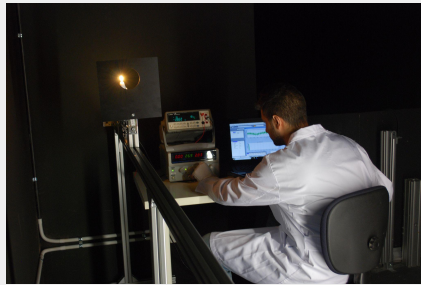
ZONA LUMINICA	PERMITIDA
E1,E2 y E3 insertadas en E1	NO
E3	NO
E4	SI

ZONA LUMINICA	PERMITIDA
E1,E2 y E3 insertadas en E1	NO
E3	NO
E4	SI

ZONA LUMINICA	PERMITIDA
E1,E2 y E3 insertadas en E1	NO
E3	NO
E4	NO

La importancia de la calibración de los equipos

Una correcta calibración es brindar certeza sobre el desempeño y buen funcionamiento del equipo, responder a los requisitos establecidos por las normas de calidad, garantizar la confiabilidad y trazabilidad de los resultados obtenidos



Muchas gracias!

¿Alguien tiene alguna pregunta?

mballbe@asselum.com

+34 615171421

ASSELUM LUMINOTECNICS, S.L.

www.asselum.com

