

El laboratorio de fotometría del CEDEX. Análisis de las características fotométricas de los materiales retrorreflectantes

The Photometry Laboratory of CEDEX. Photometric characteristics analysis of the retroreflective materials

Francisca Castillo Rubí*

Palabras clave

fotometría;
retroreflexión;
materiales
retroreflectantes;
medidas fotométricas;
carreteras;

Sumario

En este artículo se describe el **Laboratorio de Fotometría** instalado en el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (LCEM) del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). En este laboratorio se puede realizar la caracterización fotométrica de los materiales retrorreflectantes empleados en el equipamiento de las carreteras, es decir, en las señales verticales de circulación, a través de las medidas del coeficiente de intensidad luminosa y coeficiente de retroreflexión. Así mismo, se pueden reproducir todas las geometrías definidas, tanto en las normas nacionales como europeas.

Keywords

photometry;
retroreflection;
retroreflective materials;
photometric measures;
equipment road;

Abstract

In this paper the Photometry Laboratory is described. It is installed in the Central Laboratory for Structures and Materials of the Public Works Experimentation Studies Center. In this Laboratory the photometric characterization, through coefficient of luminous intensity and coefficient of retroreflection can be performed. Also all defined geometries, for retroreflective materials used in traffic signs, as defined in both national and European standards, can be reproduced

1. INTRODUCCIÓN

En España, el primer material retrorreflectante empleado en el campo de la señalización vertical tuvo su aparición en la década de los cincuenta del siglo pasado. Desde entonces hasta ahora se ha ido mejorando el comportamiento de estos materiales y sus características, tanto físicas como mecánicas. En un principio, los materiales retrorreflectantes estaban constituidos por esferas de vidrio, después se utilizaron las microesferas de vidrio y en la actualidad, se ha implantado la tecnología de los microprismas.

Debido a que las grandes multinacionales y empresas privadas investigan y desarrollan nuevas tecnologías con objeto de obtener nuevos materiales con mejores prestaciones, parece lógico pensar, que los laboratorios que en el ámbito de la Administración Pública, estudian, analizan y comprueban el comportamiento de esos nuevos materiales, deben adecuar su equipamiento a las nuevas tecnologías (figura nº 1).

Por este motivo, el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (LCEM) del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) ha ido adecuando su equipamiento, de tal forma que en la actualidad dispone de un **Laboratorio de Fotometría** en el que se ha instalado un sofisticado **sistema de fotometría** capaz de estudiar y evaluar las características fotométricas, de todos y cada uno de los materiales retrorreflectantes existentes en el mercado. Este sistema permite reproducir,

en condiciones nocturnas, todas las angularidades más significativas presentes en la conducción. Así mismo, es capaz de operar en los rangos de todas las geometrías definidas, tanto en la normativa nacional como europea, imposibles de conseguir con los actuales equipos portátiles.

En este artículo se realiza una descripción detallada del **Laboratorio de Fotometría**, así como de los diferentes componentes y accesorios que ha sido necesario diseñar y confeccionar para poder llevar a cabo las medidas fotométricas, tanto de los materiales retrorreflectantes convencionales, constituidos por microesferas, como los constituidos por microprismas.



Figura 1. Percepción visual nocturna de una carretera.

* Corresponding author: francisca.castillo@cedex.es

Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX, Madrid, España.

2. DESCRIPCIÓN DE MATERIALES RETRORREFLECTANTES

En la fabricación de las señales y carteles verticales de circulación, así como en los elementos de balizamiento se utilizan los materiales retrorreflectantes (figura nº 2).

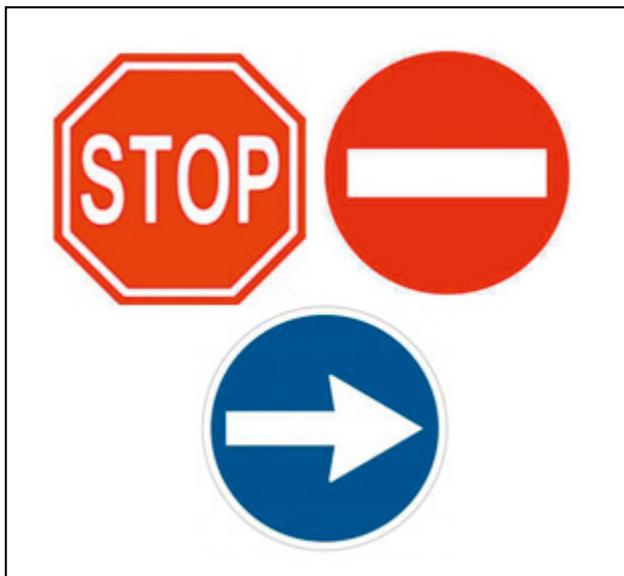


Figura 2. Materiales retrorreflectantes en las señales de circulación.

El objetivo de estos materiales retrorreflectantes es que los productos en los que se colocan puedan ser observados fácilmente por los usuarios, fundamentalmente en condiciones nocturnas, que son las más desfavorables para el ser humano.

Los materiales retrorreflectantes comerciales empleados en la señalización vertical y balizamiento se presentan en forma de láminas y telas y están constituidos por microesferas de vidrio o microprismas.

Teóricamente un material retrorreflectante perfecto es aquél, que prescindiendo de la pequeña proporción de luz absorbida, refleja la mayor parte de la luz en la misma dirección que la luz incidente, pero en sentido opuesto. No obstante, los materiales retrorreflectantes comerciales no son totalmente perfectos, por lo que la luz retrorreflejada se distribuye en direcciones muy próximas a la luz incidente (figura nº 3).

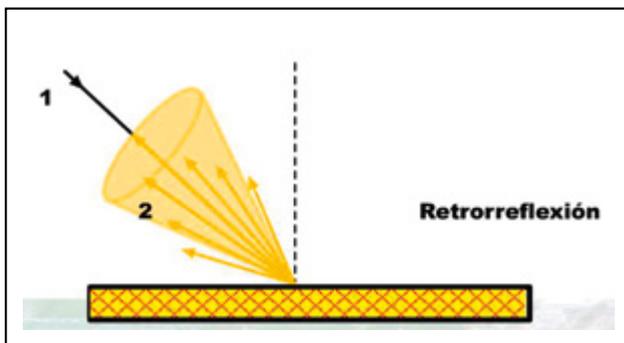


Figura 3. Fenómeno de retrorreflexión.

Desde un punto de vista óptico, los componentes principales de los materiales retrorreflectantes son las microesferas de vidrio y los microprismas, los cuales son los responsables de que en estos materiales tenga lugar el fenómeno de la retrorreflexión.

El fenómeno de la retrorreflexión permite que la luz del haz que incide en la superficie de un material retrorreflectante, procedente de los faros de un vehículo, sea devuelta en cantidad apreciable, en direcciones próximas a la del haz incidente, facilitando al conductor del vehículo la percepción del elemento de la carretera (señal vertical o baliza) (figura nº 4). De este modo se consigue que las señales, carteles y balizas retrorreflectantes muestren, a los ojos de los conductores que circulan por la noche, una luminancia (nivel de luminosidad) y un contraste con el entorno necesarios para identificarla e interpretarla.



Figura 4. Retrorreflexión en una esfera.

La calidad de los materiales utilizados, en la señalización vertical, es muy importante, desempeñando, cada uno de ellos, su propia función dentro del conjunto. No obstante, en este artículo, nos vamos a centrar, solamente, en los materiales retrorreflectantes, responsables de que las señales verticales y balizas sean visibles en condiciones nocturnas.

El comportamiento de los materiales retrorreflectantes es distinto en condiciones diurnas y nocturnas.

De día, la luz incidente es una combinación de la luz difusa procedente del cielo y en algún momento la luz directa del sol, cuando está muy bajo. En estas condiciones la componente retrorreflejada es muy pequeña, limitándose únicamente a la pequeña porción de cielo que está detrás del observador.

De noche, la luz que incide sobre el material retrorreflectante, generalmente procede de los faros del coche, es decir, una luz de incandescencia que puede considerarse con una distribución espectral análoga al iluminante patrón A de la Comisión Internacional de Iluminación, CIE, que representa la radiación de temperatura de color de 2.856 K (1).

Las condiciones geométricas, es decir, los ángulos de iluminación y de observación van cambiando conforme el observador (conductor) se va aproximando a las señales.

Los requisitos mínimos que han de cumplir los materiales retrorreflectantes empleados en las señales verticales de circulación se encuentran recogidos en el "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG3)" (2) y en las normas UNE 135 334; UNE 135340 y UNE EN 12899 (3-6).

Entre los requisitos o características que han de cumplir los materiales retrorreflectantes están las características fotométricas, que son las que nos dan una idea del comportamiento de estos materiales cuando son observados por los conductores, es decir, nos indican el poder de retrorreflexión de estos materiales.

3. LA FOTOMETRÍA

El propósito principal de la fotometría es medir la radiación visible o luz, de tal forma que los resultados obtenidos sean aproximadamente iguales a la sensación visual percibida por un observador humano con vista normal. Para conseguir este propósito se han de tener en cuenta los **estímulos de la luz**, es decir, la radiación que incide en la retina y las **características del sentido de la vista** que producen la **sensación**.

Lógicamente, es condición necesaria que haya una similitud entre las variables que nos encontramos durante la conducción y las prestaciones que deben poseer los equipos empleados en las medidas fotométricas.

El conductor recibe la información de las señales de circulación a través del sentido de la vista, conocido con el nombre de fenómeno de la visión y en él intervienen tres entes fundamentales:

- el estímulo: fuente de iluminación
- el receptor: el conductor u observador
- y la respuesta (la sensación visual y la percepción)

En la carretera conforme el coche se va acercando a la señal las condiciones de iluminación y observación van cambiando continuamente. Por este motivo, el equipo de fotometría debe disponer de un sistema que permita conseguir ángulos de iluminación (incidencia) y observación variables, con objeto de reproducir tantas geometrías como sean posibles.

4. EL LABORATORIO DE FOTOMETRÍA DEL CEDEX

Al intentar reproducir las condiciones reales de la conducción nocturna fue necesario habilitar un laboratorio que midiera más de 20 metros de longitud para la posterior instalación del equipo de fotometría. Dicho laboratorio se encuentra en la planta sótano del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales y dispone de condiciones ambientales normalizadas.

El Laboratorio consta de dos zonas totalmente separadas, la zona de medición y la zona de operación.

La **zona de medición** (figura nº 5) tiene la particularidad de que todas las paredes, techo y suelo están pintados de color negro mate. De esta forma los resultados de las



Figura 5. Zona de medición del Laboratorio de Fotometría del CEDEX, de más de 15 metros de longitud.



Figura 6. Zona de operación. Unidad de control y registro de datos.

medidas no se ven afectados por reflexiones y brillos procedentes de otros materiales que no sean los de la propia muestra de ensayo, ya que las medidas fotométricas se deben realizar en total oscuridad. En esta zona se encuentran el retrorreflectómetro y goniómetro.

En la **zona de operación** se encuentra la unidad para el control, registro y procesado de datos. En esta zona, el técnico prepara las muestras de ensayo y selecciona los programas para ejecutar las medidas correspondientes (figura nº 6).

5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE FOTOMETRÍA

El sistema o equipo de fotometría se compone de retrorreflectómetro, goniómetro y de una unidad para el control, registro y procesado de datos.

5.1. Retrorreflectómetro

El retrorreflectómetro está compuesto por una **fuentes de iluminación** que reproduce la luz procedente de los faros de los vehículos, y, por un **fotómetro u observador** que simula la percepción visual de un conductor. La fuente de iluminación y el fotómetro se encuentran en el mismo plano, siendo éste normal a la horizontal (suelo) (figura nº 7).



Figura 7. Retrorreflectómetro.

El retrorreflectómetro dispone de un sistema mecánico que hace funcionar automáticamente un obturador, de tal forma que si la lámpara o el equipo completo se enciende o apaga el mecanismo abre o cierra automáticamente dicho obturador. De esta forma, tanto la fuente de iluminación como el fotómetro quedan protegidos de las partículas de polvo cuando no se estén realizando medidas.

5.1.1. La fuente de iluminación

En condiciones nocturnas, cuando las luces de los faros de los coches inciden en las señales retrorreflectantes, el conductor recibe esta información a través del sentido de la vista, gracias al carácter retrorreflectante de los materiales utilizados. El hecho de recibir esta información a distancias cortas o largas depende, entre otras, de las características fotométricas de los materiales.

Dicho esto, el equipo de fotometría tiene que disponer de una fuente de iluminación con una distribución espectral lo más parecida posible a la de los faros de los coches. Esto se consigue fácilmente utilizando una lámpara halógena de tungsteno con una distribución espectral relativa que representa la radiación de temperatura de color de 2856 K, según el iluminante patrón A definido por la CIE (1).

La fuente de iluminación emite un flujo luminoso constante en un área de iluminación de 250 mm de diámetro, para una distancia de medida de 15 metros. La uniformidad de la iluminancia en dicha área es de $\pm 2\%$, y la iluminancia en la superficie de medida es de $10 \text{ lx} \pm 0,2 \text{ lx}$.

5.1.2. El fotómetro

El detector fotométrico está constituido por un sensor de silicio que se ajusta a la curva de eficiencia luminosa espectral del observador patrón fotópico definido por la CIE. Dispone de un sistema óptico con protección interior para eliminar las luces parásitas.

El fotómetro puede desplazarse continuamente acercándose o alejándose de la lámpara, por medio de un sistema mecánico que permite seleccionar los ángulos de observación, α , en el rango de $0,1^\circ$ ($6'$) a $2,0^\circ$, en intervalos de $0,001^\circ$.

El desplazamiento del sensor fotométrico hacia la lámpara permite obtener ángulos de observación muy pequeños, pero para conseguir el ángulo de observación de $0,1^\circ$ la aproximación del sensor y la lámpara es tan elevada que hay riesgo de alterar la precisión de ambos. No obstante, esto se evita fijando un prisma de forma permanente en la cabeza del sensor fotométrico sin que se vea afectada la precisión del mismo.

5.2. Goniómetro

El goniómetro, se encuentra en la zona de medición y, sirve para emplazar la muestra objeto de medida. Dispone de una fijación y sistema mecánico que asegura que los movimientos rotacionales de los ejes vertical y horizontal queden libres de vibraciones, esto permite seleccionar las dos componentes (β_1 y β_2) definidas en fotometría para los ángulos de incidencia con una precisión de $0,11^\circ$ (figura nº 8).



Figura 8. Goniómetro.

En los temas de señalización vertical la CIE acuerda que en las medidas fotométricas el ángulo de incidencia, β , queda definido por β_1 ($\beta = \beta_1$) mientras que la segunda componente se considera igual a cero ($\beta_2 = 0$).

El goniómetro lleva incorporado un láser para ajustar el centro de referencia de la probeta con respecto al haz de iluminación, y de esta forma hacer coincidir el centro del área de iluminación con el de la probeta (figura nº 9).



Figura 9. Detalle de la alineación de la muestra con el láser.

El goniómetro empleado en este equipo de fotometría cumple las especificaciones definidas por la CIE para las medidas fotométricas de los materiales retrorreflectantes empleados en señalización vertical.

5.3. Dispositivos adicionales

La adquisición de algunos dispositivos ha permitido ampliar las prestaciones del sistema de fotometría y así poder realizar medidas con nuevas geometrías incorporadas en la normativa, tanto nacional como europea. Estas nuevas geometrías permiten estudiar el comportamiento de nuevos materiales retrorreflectantes obtenidos a través de nuevas tecnologías, los cuales presentan mejores características.

5.3.1. Nonius

La selección del ángulo de rotación ϵ , es esencial para aquellos materiales retrorreflectantes, en los que su comportamiento fotométrico se ve afectado por la orientación del propio material. Esto puede dar lugar a cambios drásticos y conclusiones erróneas en los resultados, fundamentalmente en aquellas muestras en las que estos materiales están adheridos a sustratos procedentes de señales de circulación o balizas.

En el año 2013 se diseñó y construyó un dispositivo que permite seleccionar el ángulo de rotación ϵ , de forma automática. Este dispositivo (figura nº 10) se instala sobre la mesa del goniómetro, de tal forma que desde la unidad de control se puede realizar la total rotación de las muestras, en el rango de 0° a 360° , con una resolución de $0,5^\circ$.

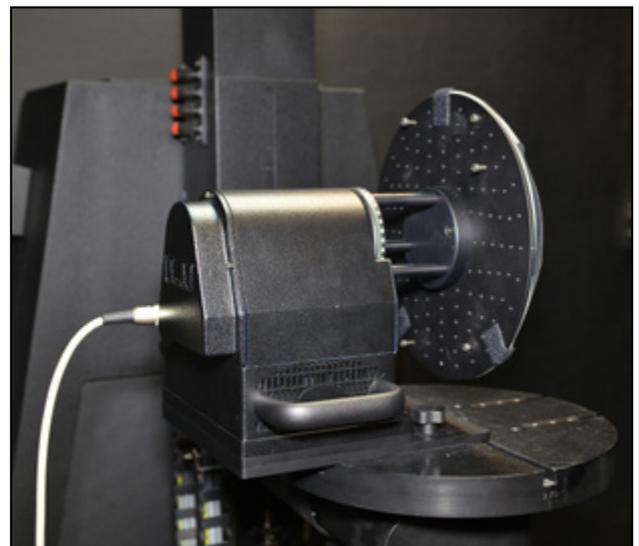


Figura 10. Vista posterior lateral del nonius.

5.3.2. Luxómetro digital

La utilización del luxómetro digital en el **Laboratorio de Fotometría**, permite verificar el flujo luminoso emitido por la fuente de iluminación, así como, la uniformidad del mismo en el área de iluminación de 250 mm de diámetro (Ver apartado 5.1.1.)

El luxómetro es un instrumento capaz de medir, de forma rápida y sencilla, la iluminancia real en el área

ZA									
Geometrías		AM3P EN1 20.06.2013	AM3P EN2 20.06.2013	AM3P EN3 20.06.2013	Media EXPEDIENTE	INC	-INC	+INC	UNE
Observación	Incidencia	9152	9153	9154					
0.1	5	1181	1150	1146	1159	33,70	1125,30	1192,70	550
	15	913	861	851	875	46,11	828,89	921,11	390
	30	467	432	422	440	29,18	411,15	469,51	275
0.2	5	764	741	744	750	21,88	727,78	771,55	400
	15	631	598	591	607	30,34	576,33	637,01	290
	30	342	319	310	324	20,52	303,15	344,18	210
0.33	5	554	551	551	552	12,27	539,73	564,27	275
	15	430	418	409	419	17,23	401,77	436,23	195
	30	222	211	204	212	11,60	200,73	223,94	145
ZB									
Geometrías		AM3P EN1 20.06.2013	AM3P EN2 20.06.2013	AM3P EN3 20.06.2013	Media EXPEDIENTE	INC	-INC	+INC	UNE
Observación	Incidencia	9152	9153	9154					
0.33	5	554	551	551	552	12,27	539,73	564,27	210
	15	430	418	409	419	17,23	401,77	436,23	168
	30	222	211	204	212	11,60	200,73	223,94	115
0.5	5	502	514	508	508	13,12	494,88	521,12	175
	15	360	363	357	360	11,04	348,96	371,04	105
	30	187	175	173	178	9,56	168,51	187,63	70
1	5	147	153	152	150	4,68	145,79	155,15	24
	15	130	144	140	138	9,54	128,36	147,44	17
	30	78	86	84	82	5,19	77,14	87,53	10
ZC									
Geometrías		AM3P EN1 20.06.2013	AM3P EN2 20.06.2013	AM3P EN3 20.06.2013	Media EXPEDIENTE	INC	-INC	+INC	UNE
Observación	Incidencia	9152	9153	9154					
1	5	147	153	152	150	4,68	145,79	155,15	25
	15	130	144	140	138	9,54	128,36	147,44	20
	30	78	86	84	82	5,19	77,14	87,53	13
	40	45	44	43	44	1,47	42,50	45,44	7
1.5	5	42	47	44	44	2,85	41,39	47,08	10
	15	32	38	36	35	3,39	31,98	38,76	9
	30	31	38	37	35	4,31	31,05	39,68	7
	40	17	19	18	18	1,05	16,77	18,86	3

Figura 11. Datos de un material retrorreflectante amarillo de clase 3 micropismático, AM3P.

de medida, de aproximadamente 100 mm x 100 mm. La unidad de medida es el lux (lx). El rango de utilización es de 0,01 lx a 199,99 lx y presenta una resolución de 0,01 lx.

5.4. Accesorios portamuestras, soportes y diafragmas

La fabricación de algunos accesorios fue necesaria para la correcta caracterización fotométrica de los diferentes materiales retrorreflectantes. Se fabricaron varios portamuestras, soportes y diafragmas.

Todos estos accesorios son de aluminio con acabado químico anodizado en color negro mate, para no adicionar brillos ni reflejos en las medidas realizadas en las muestras.

El portamuestras se fija a la mesa del goniómetro por diferentes puntos de sujeción. La base del portamuestras permite el desplazamiento horizontal sobre dicha mesa y así alinear correctamente la muestra a medir.

Los diafragmas definen diferentes áreas de exposición y los soportes aseguran la posición de la probeta de medida independientemente de sus dimensiones, con objeto de asegurar el posicionamiento centrado de la probeta con el del área de iluminación.

5.5. Unidad para el control, registro y procesado de datos

En la zona de operación se encuentra la unidad de control de los diferentes componentes del sistema de fotometría

y de los ensayos de medida. Al lado de esta unidad se encuentra el ordenador, el cual, ha sido adquirido recientemente, debido a las necesidades del nuevo soporte ofimático instalado en el año 2013.

Este soporte ofimático permite seleccionar y controlar:

- las condiciones de operación,
- estado de la fuente de iluminación,
- movimiento del motor, velocidad y sentido de giro del goniómetro,
- adquisición de valores angulares del goniómetro (ángulos de incidencia, β_1 y β_2),
- adquisición de valores angulares del nonius (ángulos de orientación, ϵ),
- movimiento y velocidad del sensor fotométrico,
- adquisición de los valores angulares del sensor fotométrico (ángulos de observación, α),
- unidades de medida,
- cambios de escala,
- adquisición de los valores de las medidas e impresión de los resultados obtenidos.

6. REGISTRO Y ANÁLISIS DE DATOS

A modo de ejemplo en las figuras nº 11 y nº 12 se presentan los resultados obtenidos, en el Laboratorio de Fotometría, en algunos de los materiales retrorreflectantes.

En la figura nº 11 se exponen los valores de los coeficientes de retrorreflexión, expresados en $cd/(lx.m^2)$, de

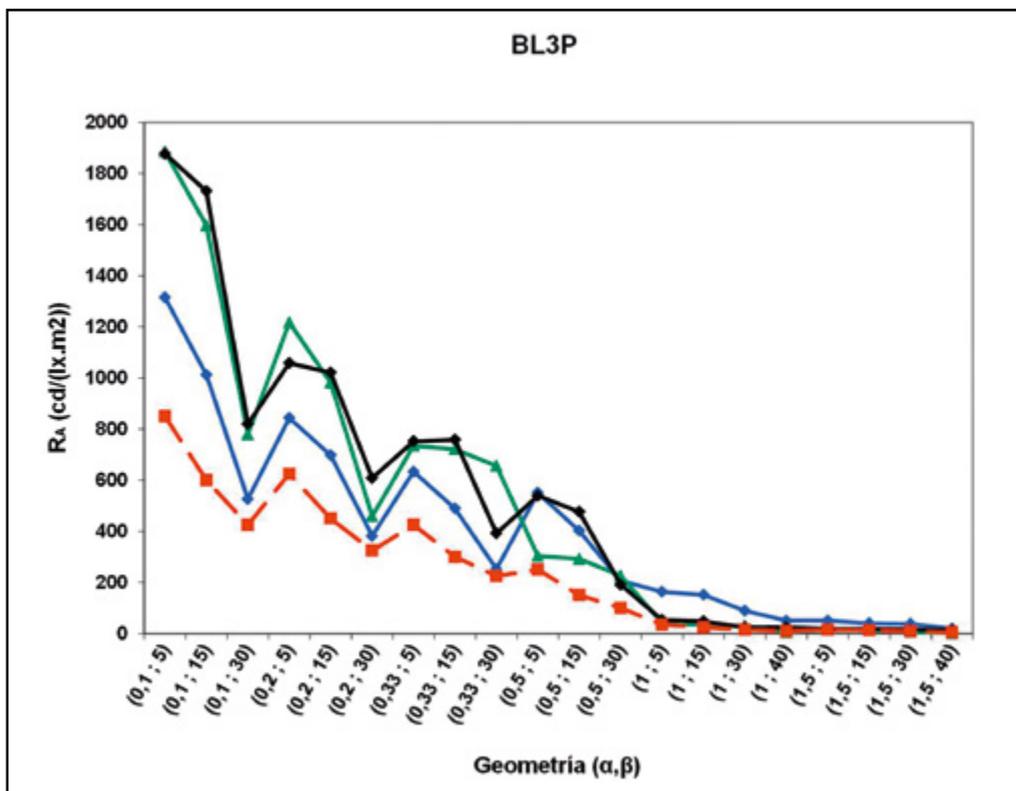


Figura 12. Representación gráfica del coeficiente de retrorreflexión, $cd/(lx.m^2)$, en función de la geometría. Material retrorreflectante blanco de clase 3 microprismático de diferentes fabricantes.

un material retrorreflectante de clase 3 (RA3) constituido por microprismas, para las diferentes zonas definidas en la normativa (ZA, ZB y ZC), en las que se exponen las geometrías recogidas en la normativa, para este tipo de materiales. Igualmente, se pueden ver los resultados obtenidos en cada una de las probetas utilizadas, en total tres, valor medio, desviación típica, incertidumbre y el valor mínimo definido en la norma.

En la figura nº 12 se representan valores de varios materiales retrorreflectantes microprismáticos color blanco de clase 3, de color blanco (BL3P), procedentes de diferentes fabricantes. Los valores representados son los del coeficiente de retrorreflexión, $cd/(lx.m^2)$, en función de la geometría, es decir, de las parejas de ángulos observación/incidencia.

7. CONCLUSIONES

- El sistema o equipo de fotometría, instalado en el **Laboratorio de Fotometría**, permite evaluar el comportamiento de las características fotométricas de todos los materiales retrorreflectantes utilizados en el equipamiento vial.
- En este Laboratorio se pueden reproducir angularidades o geometrías imposibles de conseguir con los actuales equipos portátiles y para esto es necesaria una distancia mínima de 15 metros entre los dos componentes principales del sistema, el retrorreflectómetro y goniómetro.
- Los resultados de las medidas obtenidas son absolutas, pues no es preciso la utilización de patrones.
- El rango de los ángulos de observación, α , (o de divergencia) es de $6'(0,1^\circ)$ a $2,0^\circ$, gracias al

movimiento de la cabeza del fotómetro (aproximándose o alejándose de la fuente iluminación). Fue necesario fijar de forma permanente un prisma delante de la cabeza fotométrica, el cual, no afecta a la precisión de la medida, para conseguir el ángulo tan pequeño de $6'$.

- En lo que se refiere a los ángulos de incidencia, β (o de entrada) se pueden conseguir todos los definidos tanto en la normativa nacional como europea en los sentidos positivos y negativos, gracias a que el goniómetro dispone de un sistema mecánico de movimiento rotacional alrededor de los ejes vertical y horizontal.
- El equipo de fotometría permite trabajar en el rango de medidas de:
 - coeficiente de intensidad luminosa, R, de: $0,1 \text{ mcd/lx}$ a 199.900 mcd/lx
 - coeficiente de retrorreflexión, R' , de: $0,01 \text{ cd}/(lx.m^2)$ a $19.990 \text{ cd}/(lx.m^2)$
- El equipo de fotometría cumple todas las especificaciones definidas por la Comisión Internacional de Iluminación para realizar medidas fotométricas en los materiales retrorreflectantes empleados en las señales de circulación.
- El Laboratorio de Fotometría está acreditado por la Entidad Nacional de Acreditación, ENAC, conforme a los criterios recogidos en la Norma UNE-EN ISO/IEC 17025 (CGA-ENAC-LEC), para la realización de las medidas fotométricas en los materiales retrorreflectantes empleados en las señales de circulación.

- En el Laboratorio de Fotometría se pueden reproducir todas las geometrías de angularidad definidas, tanto en la normativa nacional como europea, para todas las clases (RA1, RA2 y RA3) de materiales retrorreflectantes obtenidos por las diferentes tecnologías utilizadas, es decir:
 - materiales retrorreflectantes constituidos por microesferas de vidrio, y,
 - materiales retrorreflectantes constituidos por microprismas

8. BIBLIOGRAFÍA

Publicación CIE 54.22. Technical Report. Retroreflection: Definition Measurement (2001).

Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG3).

UNE 135334. Señalización vertical: Láminas retrorreflectantes con microesferas de vidrio. Características y métodos de ensayo (2011).

UNE 135340. Señalización vertical: Láminas retrorreflectantes microprismáticas poliméricas. Características y métodos de ensayo (2010).

UNE 135340. 1ª Modificación. Señalización vertical: Láminas retrorreflectantes microprismáticas poliméricas. Características y métodos de ensayo (2012).

Norma UNE EN 12899-1. Señales verticales fijas de circulación. Parte 1: Señales fijas (2009).

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi agradecimiento, personal y profesional, a **D^a. Ascensión Martín Marcos**, por estar siempre colaborando y ayudándome en todas las tareas del CEDEX, y en concreto, en todo lo relacionado con la fotometría de los materiales retrorreflectantes.

Así mismo, quiero mencionar mi agradecimiento a **D. Javier Plasencia Jiménez** por su profesionalidad y buena disposición para llevar a cabo el reportaje fotográfico realizado en el Laboratorio de Fotometría, y que ha dado lugar a este artículo.