

IMPORTANCIA DE LA RETRORREFLEXION EN LA SEGURIDAD VIAL. I. VISIBILIDAD NOCTURNA EN LA SEÑALIZACION VERTICAL

FRANCISCA CASTILLO RUBI (*)
MANUEL BLANCO FERNANDEZ (**)

RESUMEN. En este trabajo se presenta la problemática existente en la tecnología actual para la medida de la retrorreflexión en los materiales retrorreflectantes empleados en la señalización vertical de las carreteras. Este fenómeno de la retrorreflexión es conocido con el nombre «VISIBILIDAD NOCTURNA», ya que la retrorreflexión tiene mayor importancia de noche, cuando los materiales retrorreflectantes, es decir, las señales verticales son iluminadas por los faros de los coches.

Se ha procedido a la determinación del coeficiente de retrorreflexión de una serie de materiales retrorreflectantes, así como de láminas retrorreflectantes aplicadas en las señales verticales antes y después de ser colocadas en la carretera.

ABSTRACT. *The aim of this work is to provide an accurate terminology, including main definitions and units, useful for characterizing the specific effects of retroreflection in nighttime conditions.*

It has also provides the retroreflection coefficient determination of a set of retroreflectant materials, as well as of retroreflectants sheets applied in vertical signals, to be placed on the road.

1. INTRODUCCION

No es necesario decir que todas las señales verticales deben ser perfectamente visibles, tanto de día como de noche. Esta visibilidad no debe limitarse a las inscripciones y símbolos, sino que debe extenderse a los colores de fondo, orlas y flechas.

Para hacer visibles las señales durante las horas nocturnas se utilizan tradicionalmente dos procedimientos: la iluminación y la retrorreflexión.

La iluminación puede ser externa o interna. En el primer caso debe consistir en uno o varios focos que iluminen toda la superficie visible del cartel, que no produzcan deslumbramientos a los usuarios a los que no va dirigida la señal, y que no produzcan sombras durante el día. No debe admitirse el aprovechamiento de la iluminación pública de la vía como sistema de iluminación de la señal, ya que éste puede suprimirse en determinadas horas o períodos con el fin de ahorrar energía.

La iluminación interna exige que las superficies blancas o coloreadas sean translúcidas de forma que todos los detalles del cartel sean visibles con su color. El

sistema de iluminación interna debe ser tal que no se adviertan diferencias de intensidad luminosa entre unas zonas y otras del cartel. Con este fin, antes de decidir la instalación de señales internamente iluminadas debe quedar garantizada la constante inspección, y renovación en su caso, del sistema de iluminación interna.

El otro procedimiento de hacer visibles las señales durante la noche es el de la retrorreflexión. El uso de materiales retrorreflectantes se extiende cada vez más, incluso en zonas urbanas, por dos razones fundamentales. La primera es la mayor sencillez y menor coste de la instalación y del mantenimiento. La segunda se deriva de la tendencia a obligar a la utilización del alumbrado de cruce a los vehículos que circulen por zonas urbanas. Las ventajas del sistema son tales que incluso se utiliza en el caso de señales iluminadas, ya que constituyen una garantía de un mínimo de visibilidad, en caso de avería o de supresión voluntaria o involuntaria de iluminación.

Es importante tener en cuenta que cuando se utilicen materiales retrorreflectantes, éstos deben extenderse a toda la superficie, es decir, a las orlas, las inscripciones y los símbolos, exceptuándose única y exclusivamente la parte negra (o azul oscura) que en los mismos pueda existir. El fondo de la señal también deberá ser retrorreflectante cualquiera que sea su color o combinación de colores, con la única excepción del gris.

(*) Doctora en Ciencias Químicas. Jefe de División de Materiales Orgánicos. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales. CEDEX-MOPU.

(**) Doctor en Ciencias Químicas. Jefe del Sector de Materiales. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales. CEDEX-MOPU.

Una retroreflexión parcial, como por ejemplo sólo las inscripciones, hace que el aspecto del cartel sea completamente distinto de día y de noche, ya que las zonas no retroreflectantes aparecen oscuras o en negro desvirtuando así el código de colores empleados.

Es pues imprescindible que los materiales retroreflectantes proporcionen una visión lo más similar posible a la diurna de todos y cada uno de los colores empleados.

En este trabajo nos vamos a centrar exclusivamente en el segundo procedimiento anteriormente mencionado, es decir, vamos a hablar de los materiales retroreflectantes empleados en la señalización vertical.

De día el conductor observa las señales verticales de circulación y por tanto los materiales retroreflectantes bajo una iluminación difusa, pero de noche estas señales son iluminadas por los faros de los coches y el conductor las observa bajo esta fuente de iluminación (luz de noche).

El objetivo de este trabajo es tratar de dar una idea clara del fenómeno de la retroreflexión y del fundamento físico de los materiales retroreflectantes empleados en la señalización vertical. Este fenómeno es conocido con el nombre de «VISIBILIDAD NOCTURNA», ya que la retroreflexión tiene mayor importancia de noche, cuando los materiales retroreflectantes son iluminados por los faros de los coches.

Por esta razón, vamos a considerar solamente las condiciones de noche para este fenómeno de la retroreflexión.

2. DEFINICIONES GENERALES

En primer lugar consideramos necesario para introducirnos en este tema dar una serie de definiciones generales (1).

En estas definiciones generales no se tiene en cuenta la intensidad luminosa.

2.1. RETORREFLEXION

Es una reflexión por la cual los rayos reflejados retornan en las mismas direcciones pero en sentido opuesto a las direcciones de los rayos incidentes; esta propiedad

mantiene las variaciones de la anchura de la dirección de los rayos incidentes.

2.2. ¿QUE ES UN MATERIAL RETORREFLECTANTE?

Teóricamente un material retroreflectante perfecto es aquel que refleja toda la luz que no ha absorbido en sentido opuesto y en la misma dirección a la de la luz incidente. Por tanto, la medida de la luz retroreflejada tendría que realizarse solamente en esa dirección. Sin embargo, los materiales retroreflectantes no son totalmente perfectos, por lo que la luz retroreflejada se distribuye en una dirección aproximada a la de la luz incidente.

2.3. ANGULO DE OBSERVACION O DE DIVERGENCIA, α

Es el ángulo formado entre la dirección de observación del material retroreflectante y la dirección de la luz incidente (fig. 1).

2.4. ANGULO DE ENTRADA O DE INCIDENCIA, β

Es el ángulo que caracteriza la posición angular del material retroreflectante con respecto a la dirección de la luz incidente. En un material retroreflectante plano, el ángulo de entrada corresponde con el ángulo de incidencia, que es el ángulo formado por el rayo incidente y la normal al plano donde incide la luz (fig. 2).

2.5. ILUMINANCIA, E

Cuando sobre un elemento de área ds llega un flujo luminoso dF , se dice que ds recibe una iluminación, a cuyo fenómeno corresponde una magnitud llamada iluminancia, definida por el cociente:

$$E = \frac{dF}{ds}$$

La iluminancia viene dada en lux, siendo un lux igual a un lumen por metro cuadrado ($\text{lux} = \text{lumen}/\text{m}^2$).

2.6. COEFICIENTE DE INTENSIDAD LUMINOSA, R

Es el coeficiente entre la intensidad luminosa del material retroreflectante en la dirección de observación (I) y la iluminancia en el material retroreflectante sobre un

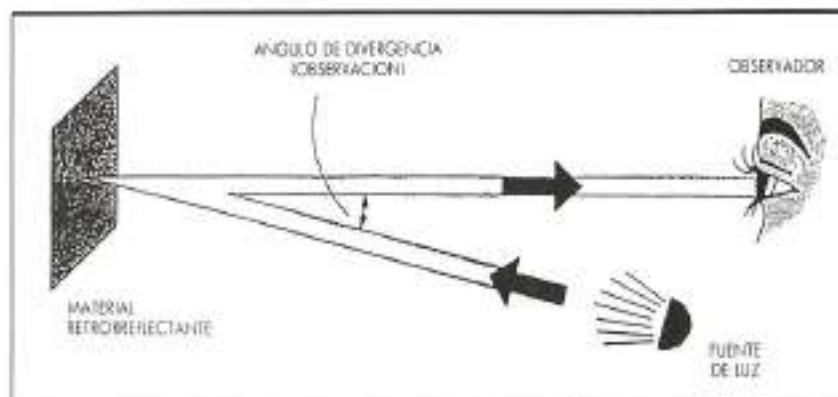


FIGURA 1. Representación del ángulo de divergencia o de observación.

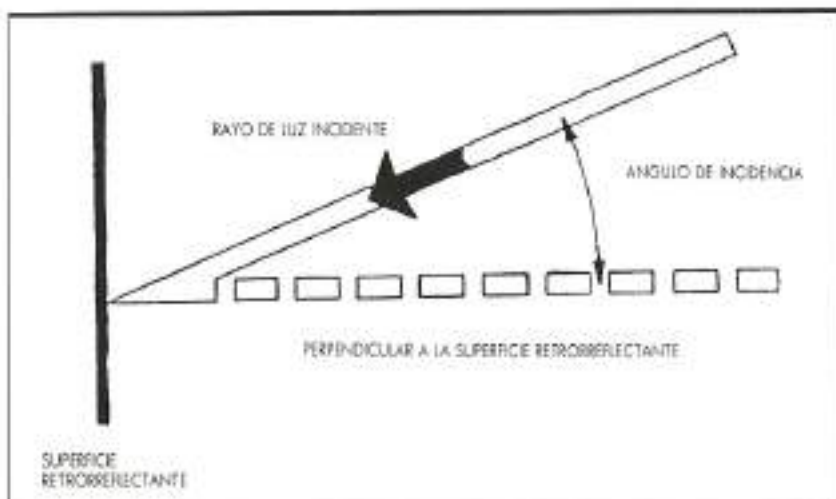


FIGURA 2. Representación del ángulo de incidencia.

plano perpendicular a la dirección de la luz incidente (E_{\perp}).

El coeficiente de intensidad luminosa (CIL) viene dado en candelas por lux (candelas/lux).

$$R = \frac{I}{E_{\perp}}$$

2.7. COEFICIENTE DE RETORREFLEXION, R'

El coeficiente de retroreflexión de una superficie plana de un material retroreflectante, R' , es el cociente entre el coeficiente de intensidad luminosa (CIL), R , de dicha superficie plana retroreflectante y su área, A .

$$R' = \frac{R}{A} = \frac{I/E_{\perp}}{A}$$

El coeficiente de retroreflexión viene dado en candelas por lux por metro cuadrado (cd/lux/m²).

La medida del coeficiente de retroreflexión se hace empleando la dirección de iluminación, la dirección de observación y la normal a la superficie del material a medir, considerando todo en un mismo plano.

3. VISIBILIDAD NOCTURNA

De noche las señales de las carreteras son iluminadas por los faros de los coches, esta luz presenta una distribución espectral aproximada a la del iluminante patrón CIE A, que representa la radiación de temperatura de color de 2.856 K. Un esquema de ello se representa en la figura 3. La señal es iluminada a lo largo de una línea incidente, la línea perpendicular de la señal se representa en el centro de la señal. El ángulo formado entre la línea de referencia (que es la normal al plano de la señal) y la línea de entrada o de incidencia se llama ángulo de incidencia o de entrada. La luz que es retroreflejada por la señal es vista usualmente en un ángulo ligeramente diferente al de incidencia. El ángulo formado entre la línea de entrada y la línea de observación se llama ángulo de observación. Estos ángulos de entrada y de observación cambian dinámicamente conforme el conductor (observador) se va aproximando a la señal. Una descripción general de la geometría se muestra en la figura 4. Por tanto, las condiciones geométricas empleadas para realizar la medida de la retroreflexión han de ser similares a las condiciones en las que el conductor (observador) ve las señales que se encuentra en la carretera.

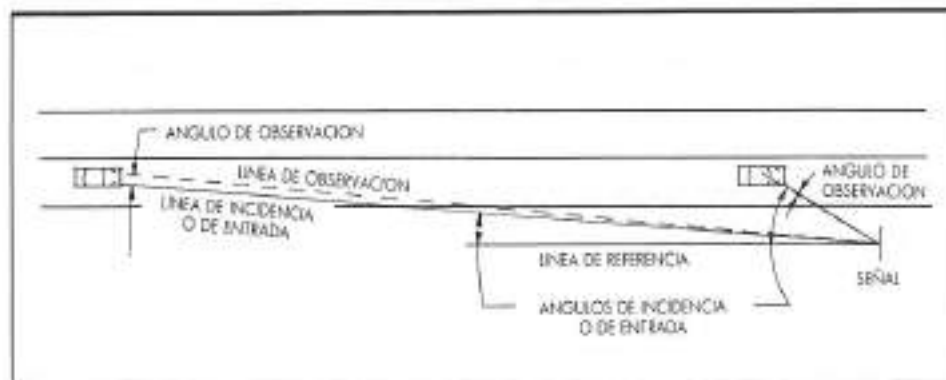


FIGURA 3. Esquema de la geometría de entrada y de observación en una carretera.

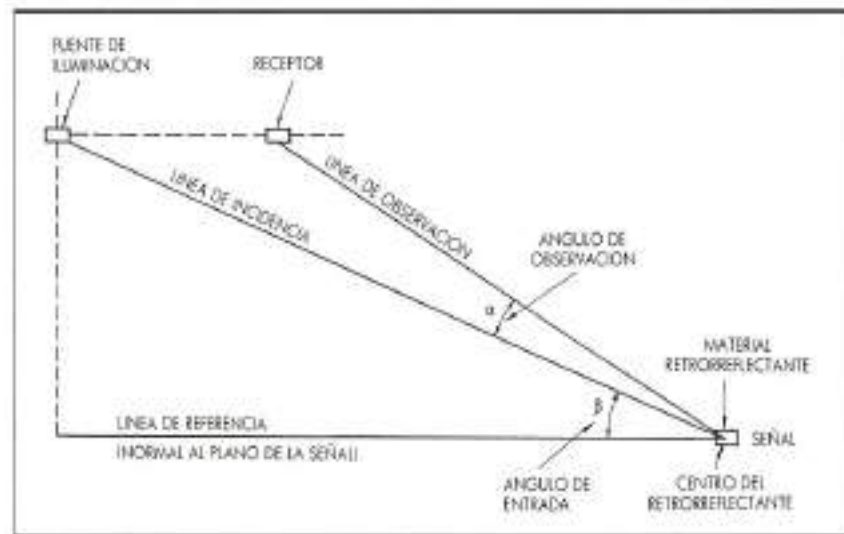


FIGURA 4. Esquema de la geometría de los materiales retroreflectantes empleados en las señales verticales.

Además, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- A. El conductor en la carretera puede ir conduciendo un coche deportivo, una furgoneta o un autobús. Por tanto, el conductor no se encuentra siempre a la misma altura con respecto a las señales verticales sino que ésta depende del coche empleado.
- B. Los faros de estos tres vehículos mencionados anteriormente tampoco se encontrarían a la misma altura con respecto a las señales verticales. Por tanto, los ángulos de entrada y de observación dependen del vehículo utilizado.
- C. La distancia entre el conductor (o el vehículo) y una determinada señal no es constante, debido a que éste se va aproximando a la misma. Por tanto, los ángulos de entrada y de observación van variando en este desplazamiento.
- D. Las señales que se encuentra el usuario en la carretera no están a la misma altura con respecto al conductor, ya que además de las señales convencionales colocadas en los laterales de la calzada hay que tener en cuenta también los pórticos.

Por todo lo anteriormente dicho, es necesario considerar varios ángulos de incidencia (o de entrada) y varios ángulos de divergencia (o de observación), con objeto de simular lo más posible la realidad.

Generalmente, se recomienda como ángulos de incidencia 5°, 30° y 40°; y como ángulos de divergencia 0,2°, 0,33° y 2° (tabla I).

4. CONDICIONES FOTOMETRICAS

Iluminando la superficie retroreflectante con el patrón A de la CIE y midiendo según las recomendaciones de la CIE, con los ángulos de entrada y observación en el mismo plano, se obtendrán los valores del coeficiente de retroreflexión expresados en candelas por lux por metro cuadrado (1).

ANGULOS DE INCIDENCIA	ANGULOS DE DIVERGENCIA
5°	0,2°
30°	0,33°
40°	2°

TABLA I. Angulos de incidencia y de divergencia.

La medida del coeficiente de retroreflexión se realizará según se describe en la figura 5.

Para ello se dispondrá de un aparato que constará de un proyector luminoso que tenga una lente de diámetro máximo de 25 mm, capaz de proyectar una luz uniforme sobre la probeta; la luz que llegue a la misma tendrá una temperatura de color de 2.856 K, equivalente a la fuente A de la CIE. La luz reflejada por la superficie del material retroreflectante se medirá con un receptor fotoeléctrico cuya respuesta haya sido corregida para la sensibilidad de color del promedio fotópico del ojo humano. Las dimensiones de la superficie activa del receptor serán tales que no superen el perímetro en más de 13 mm a partir del centro. Las probetas de material retroreflectante se colocarán sobre una superficie lisa, de color negro y se situarán, a su vez, a una distancia de $10,0 \pm 0,2$ m del proyector y receptor (fig. 5).

El área efectiva máxima de la probeta será de 100×100 mm y de 150×150 mm en colores oscuros.

Se mide la distancia de proyector a la probeta, el área de la misma, la iluminancia del material retroreflectante y la intensidad luminosa del material retroreflectante. El valor del coeficiente de retroreflexión se determinará aplicando las ecuaciones presentadas en el apartado 2.

Actualmente, gracias al desarrollo de la tecnología se dispone en el mercado de instrumentos fácilmente

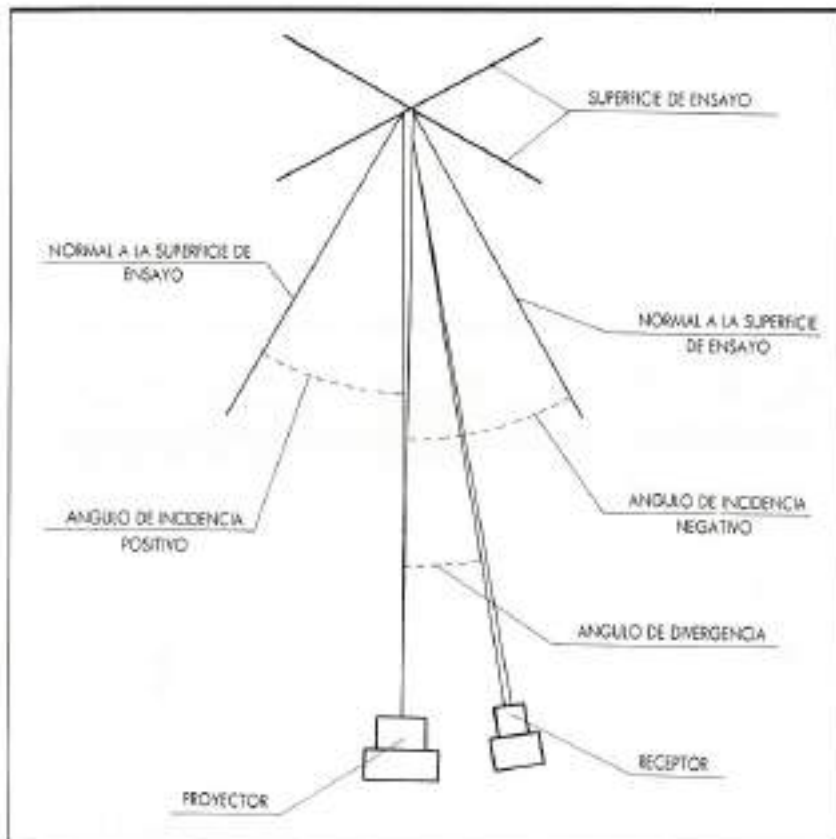


FIGURA 5. Esquema de la medición del coeficiente de retroreflexión.

manejables, denominados retroreflectómetros, que dan directamente el valor del coeficiente de retroreflexión. Estos instrumentos llevan un sistema óptico en su interior tal que cumplen todos los requisitos mencionados anteriormente, si bien es necesario chequearlos periódicamente.

5. ESPECIFICACIONES EN LAS MEDIDAS DE MATERIALES RETRORREFLECTANTES

Con objeto de que las medidas del coeficiente de retroreflexión, realizadas en materiales retroreflectantes por los diferentes laboratorios sean aceptables y exactas, es necesario hacer una serie de consideraciones (1).

5.1. ESPECIFICACION DE LA FUENTE

La fuente de luz empleada para la iluminación de materiales retroreflectantes corresponde al iluminante patrón CIE A, que representa la radiación del radiador completo a una temperatura de 2.856 K aproximadamente (1).

La experiencia ha demostrado que una desviación de ± 50 K de la distribución de temperatura puede dar lugar a errores en las medidas realizadas en materiales retroreflectantes coloreados (1).

5.2. CABEZA DEL FOTOMETRO

La cabeza del fotómetro debe ajustarse a la función del observador fotométrico patrón CIE, $V(\lambda)$ (1).

6. COMPOSICION Y CLASIFICACION DE LAS LAMINAS DE MATERIAL RETRORREFLECTANTE EMPLEADAS EN LA SEÑALIZACION VERTICAL

6.1. COMPOSICION

A continuación vamos a dar una idea de los elementos que componen una lámina de material retroreflectante (fig. 6).

- LINER o película protectora del adhesivo cuya única misión es proteger dicho adhesivo en el almacenamiento, transporte y manipulación.
- REVESTIMIENTO METALICO REFLECTOR en el que van a tener lugar los fenómenos de reflexión de los rayos luminosos.
- RESINA O AGLOMERANTE que va a ser el elemento que va a dar color a la lámina, dependiendo del tipo de pigmento que lleve. En dicha resina se encuentran las microesferas de vidrio, las cuales pueden estar incorporadas o encapsuladas dando lugar a una capa uniforme de elementos esféricos, exenta de fallos que alteren el fenómeno captadióptrico.
- PELICULA EXTERNA DE LACA, la cual es transparente, flexible y resistente a la humedad. Dicha película puede aplicarse en forma de lámina o mediante pulverización.

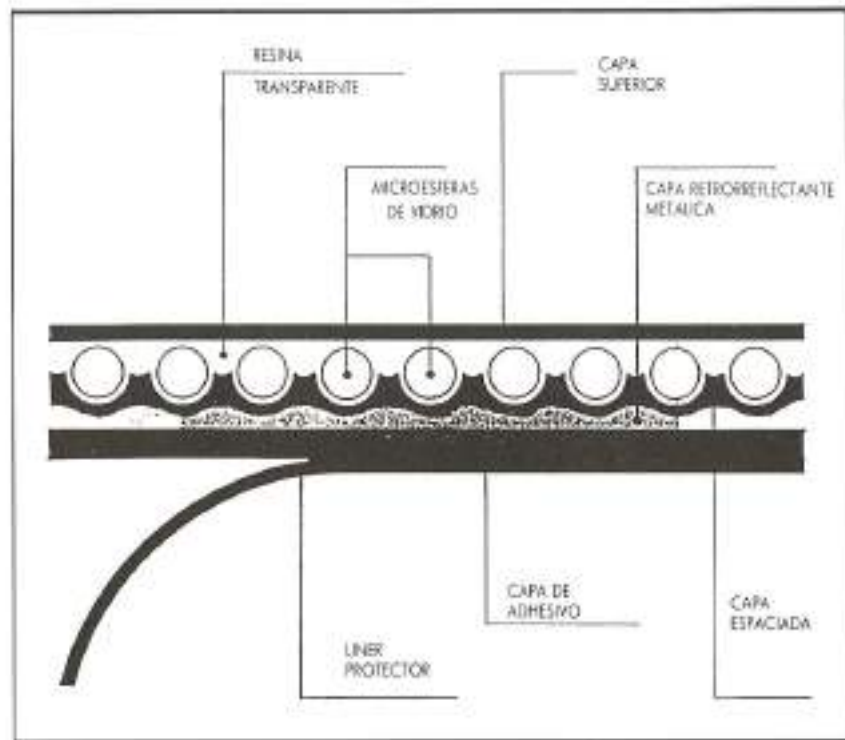


FIGURA 6. Composición de una lámina de material retrorreflectante.

6.2. CLASIFICACION

Las láminas de material retrorreflectante se pueden clasificar bien atendiendo a la forma de fijación del adhesivo, o bien atendiendo al poder de retrorreflexión de las mismas:

- Atendiendo a la FORMA DE FIJACION del adhesivo se pueden clasificar:
 1. Adhesivos colocados por presión o VIVOS.
 2. Adhesivos colocados por la acción del calor y presión o MUERTOS.
 3. Adhesivos colocados por presión, pero que son susceptibles de cambiar fácilmente de posición en el momento de su aplicación.
- Atendiendo al PODER DE RETRORREFLEXION se pueden distinguir dos niveles:
 - NIVEL 1: baja intensidad.
 - NIVEL 2: alta intensidad.

En la identificación visual de estos dos niveles en las láminas retrorreflectantes, los fabricantes hacen una marca E1 o E2. Esta identificación no molesta para nada al usuario de la carretera y se puede observar al acercarnos a la misma y para un determinado ángulo de incidencia. Este tipo de identificación se les exige ahora a los fabricantes de las láminas, según se indica en la «Revisión del actual pliego de condiciones para la señalización vertical reflexiva», elaborado por el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales en 1988.

En dicho pliego, se indican los valores mínimos exi-

gidos para la retrorreflexión de los materiales retrorreflectantes empleados en la señalización vertical, para cada uno de los ángulos de incidencia y de divergencia recomendados, haciendo distinción lógicamente entre el Nivel I y 2, y para los diferentes colores empleados (tablas II y III).

7. PARTE EXPERIMENTAL

7.1. APARATOS

En la medida del coeficiente de retrorreflexión se ha empleado un retrorreflectómetro portátil modelo R1 0,33/5, con una geometría de medición según DIN 67520, Parte 1, con un ángulo de observación α de $0,33^\circ$ y un ángulo de iluminación β de 5° .

Este retrorreflectómetro sirve para la medición de la retrorreflexión de las láminas de material retrorreflectante de las señales verticales, de los niveles 1 y 2 según DIN 6171, en los colores blanco, amarillo, rojo y azul.

Los valores de retrorreflexión, en $cd/lx/m^2$, pueden ser leídos directamente en el instrumento analógico incorporado.

El aparato permite medir rápidamente y sin problemas los valores de retrorreflexión, en el mismo emplazamiento de la señal, independientemente de la hora del día y de la iluminación, inclusive bajo los rayos del sol. Después del ajuste con la probeta patrón suministrada, queda inmediatamente a punto de servicio. Se aplica horizontalmente el aparato contra la superficie a medir, y se toma el valor de la lectura obtenida directamente.

CARRETERAS Y AEROPUERTOS

ANGULO DE		COLORES SEÑALES TRAFICO							
DIVERGENCIA	INCIDENCIA	BLANCO	AMARILLO	ROJO	VERDE	AZUL	NARANJA	MARRON	VIOLETA
0,2°	5°	70	50	14,5	9	4,0	25	1,0	3
	30°	30	22	6	3,5	1,7	7	0,3	1
	40°	10	7	2	1,5	0,5	2,2	0,1	0,4
0,33°	5°	50	35	10	7	2	20	0,6	2
	30°	24	16	4	3	1	4,5	0,2	1
	40°	9	6	1,8	1,2	0,4	2,2	—	0,3
2,0°	5°	5	3	0,8	0,6	0,2	1,2	—	0,2
	30°	2,5	1,5	0,4	0,3	0,1	0,6	—	—
	40°	1,5	1,0	0,3	0,2	—	0,4	—	—

TABLA II. Valores del coeficiente de retrorreflexión en $\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ de materiales retrorreflectantes del nivel 1.

ANGULO DE		COLORES SEÑALES TRAFICO							
DIVERGENCIA	INCIDENCIA	BLANCO	AMARILLO	ROJO	VERDE	AZUL	NARANJA	MARRON	VIOLETA
0,2°	5°	250	170	45	45	20	100	12,0	8
	30°	150	100	25	25	11	60	8,5	5
	40°	110	70	15	12	8	29	5,0	4
0,33°	5°	180	122	25	21	14	65	8,5	6
	30°	100	67	14	12	8	40	5,0	3,5
	40°	95	64	13	11	7	20	3,0	3,2
2,0°	5°	5	3	0,8	0,6	0,2	1,5	0,2	0,2
	30°	2,5	1,5	0,4	0,3	0,1	0,9	0,1	—
	40°	1,5	1,0	0,3	0,2	—	0,8	—	—

TABLA III. Valores del coeficiente de retrorreflexión en $\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ de materiales retrorreflectantes del nivel 2.

7.2. MATERIALES

Se ha hecho uso de una serie de materiales poliméricos retrorreflectantes, de origen sintético, clasificados desde el punto de vista químico como carboxipolímeros y, desde el físico, como termoestables. Los materiales sometidos a experimentación son los que normalmente se utilizan en la señalización vertical.

7.3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En la tabla IV se presentan los valores obtenidos del coeficiente de retrorreflexión de tres tipos de láminas retrorreflectantes empleadas en la señalización vertical. Si nos fijamos en estos valores y los comparamos con los recomendados en la revisión del actual pliego de condiciones para la señalización vertical (tablas II y III), se puede decir que las láminas retrorreflectantes del tipo A y B podrían considerarse pertenecientes al Nivel 1, mientras que las del tipo C podrían considerarse pertenecientes al Nivel 2, excepto la lámina de color azul, la cual presenta un coeficiente de retrorreflexión de 9 $\text{cd}/\text{lx}/\text{m}^2$, valor inferior al mínimo recomendado para el Nivel 2 en el color azul (14 $\text{cd}/\text{lx}/\text{m}^2$).

COLOR DE LA LAMINA RETRORREFLECTANTE	COEFICIENTE DE RETRORREFLEXION ($\text{cd}/\text{lx} \cdot \text{m}^2$)		
	TIPO A	TIPO B	TIPO C
BLANCO	68	131	234
AMARILLO	53	61	172
ROJO	16	24	51
AZUL	9	11	9
NARANJA	49	66	148

TABLA IV. Valores del coeficiente de retrorreflexión obtenidos en diferentes grupos de láminas retrorreflectantes.

En la tabla V se presentan los valores del coeficiente de retrorreflexión de láminas retrorreflectantes colocadas en señales verticales, que para diferenciarlas las hemos denominado tipo D y E. A su vez, en estas señales

COLOR DE LA LÁMINA RETORREFLECTANTE	COEFICIENTE DE RETORREFLEXION (cd/lx · m ²)			
	TIPO D		TIPO E	
	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
BLANCO	50	48	57	53
ROJO	12	11	19	18

TABLA V. Valores del coeficiente de retrorreflexión obtenidos en diferentes grupos de láminas retrorreflectoras antes y después de ser colocadas en obra.

se ha determinado el coeficiente de retrorreflexión antes y después de ser puestas en obra (1 año a la intemperie). De los valores obtenidos se observa que tanto las láminas del tipo D y E, pertenecen al Nivel 1 y superan el valor exigido en el pliego antes de ser colocadas en obra, pero después de estar en obra durante un año sería recomendable cambiar la lámina retrorreflectoras de color blanco del tipo D pues presenta un valor inferior al recomendado, mientras que el resto de las láminas superan el valor exigido.

BIBLIOGRAFIA

1. Publicación CIE n.º 54 (TC-2.3), 1982.
2. Revisión del actual Pliego de Condiciones para la Señalización Vertical Reflexiva, diciembre (1988).

TODO EN SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL

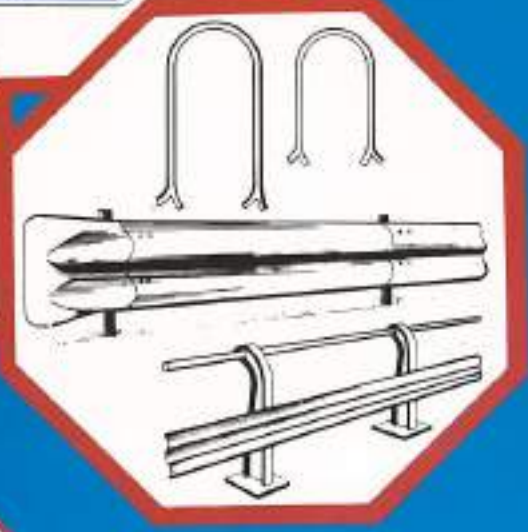
• Equipos reflectantes para Policía Municipal.



• Señales de Tráfico pintadas y reflexivas.



• Nueva señalización urbana.



• Barreras de Seguridad.

• Señalización para obras.



señalizaciones **VILLAR**

Avda. Valladolid, 58 apdo. 61 42004 **SORIA**

Telf. (975) 22 05 04

Fax (975) 22 06 45

Seibulite España, s.a.

LAMINAS REFLECTANTES SEIBULITE®

- * PARA SEÑALES DE TRAFICO EN CARRETERAS Y AUTOPISTAS
- * PARA CARTELES INDICADORES DE AVISO E INFORMACION
- * PARA MATRICULAS DE AUTOMOVIL-MOTOS-TRACTORES



**LA TECNOLOGIA JAPONESA ESTA
PRESENTE EN ESPAÑA CONTRIBUYENDO
A AUMENTAR LA SEGURIDAD VIAL**

Desde hace diez años, se están utilizando en España las láminas reflectantes **SEIBULITE** sin un solo problema de calidad.

Actualmente, son distribuidas directamente por **SEIBULITE ESPAÑA, S.A.**

Los fabricantes de señales de tráfico y de matrículas conocen las cualidades de los productos **SEIBULITE**.



Para cualquier información, no duden en dirigirse a nosotros y serán atendidos con el mayor agrado.

Seibulite España, s.a.

Concilio de Trento, 273-275

08020 - BARCELONA

Tif. 313 99 08

FAX. 313 92 75