

"Visibilidad de los sistemas de recubrimientos de demarcación vial"

Verónica Mechura (LEMaC UTN FRLP CIC PBA) y Anahi Lopez (LEMIT CIC PBA)

1. Estado actual en Argentina

La demarcación horizontal es uno de los principales elementos relacionados con la seguridad en la carretera debido a que le permite al conductor mantener el vehículo dentro del carril del tránsito y guiar su conducción en el camino. Tiene gran alcance tanto en carreteras como en las tramas urbanas; por ejemplo, las vías de ingreso a la ciudad, sendas para bicicletas, sendas peatonales, espacios destinados a estacionamiento e intersecciones varias. Los objetivos inmediatos de cada una de ellas son diferentes, así como las condiciones de visibilidad, por ello es preciso diferenciar entre la demarcación usada en redes urbanas y carreteras. En entornos urbanos se tiene una mayor exigencia con respecto al tiempo de secado de las marcas para lograr una rápida habilitación del tránsito y mayores requisitos en la evaluación de la resistencia al deslizamiento, a la abrasión y al ensuciamiento. Por ejemplo, en la Figura 1 se evidencia la importancia de intervenir zonas urbanas con la finalidad de ordenar el flujo de tránsito y proteger a los peatones.



Figura 1. Demarcación horizontal en zona urbana
Fuente: Cristacol, 2016

En cambio, en autovías o carreteras, se considera a la visibilidad nocturna como la propiedad más importante. En la Figura 2 se observan dos imágenes de un mismo tramo de ruta, en condición diurna y nocturna, que evidencian la importancia de que las marcas viales sean retrorreflectantes.



Figura 2. Visibilidad diurna y nocturna en rutas
Fuente: García, 2011

Relativo a estos requisitos, el Decreto Nacional N°779/95 que aprueba la reglamentación de la Ley Nacional N° 24.449 de Tránsito y Seguridad Vial de Argentina, establece condiciones en el Anexo L “Sistema de señalización vial uniforme”. En el capítulo VI del mismo, se establece que toda demarcación debe ser reflectiva. En base a ello, Vialidad Nacional instrumentó el manual de señalamiento horizontal (Vialidad nacional, 2012) que establece las condiciones geométricas que deben cumplir las marcas en las distintas condiciones de aplicación y hace referencia a que las marcas sean reflectivas sin determinación de geometría ni iluminación de referencia. Por otro lado, en los pliegos de Vialidad Nacional se establece el uso de equipos dinámicos para evaluar la retrorreflectancia considerando un ángulo de iluminación de $1^{\circ}24$ y un ángulo de observación de $2^{\circ}29$, estableciéndose en el mismo, el valor mínimo para su aceptación.

De ello, se resalta la necesidad de establecer y conocer las consideraciones que se deben tener en cuenta, en cuanto a geometría e iluminación, para la evaluación de la visibilidad de las marcas atendiendo a las necesidades de los conductores y a los requerimientos del tránsito.

2. Visibilidad

La demarcación horizontal debe garantizar la visibilidad necesaria para que el conductor pueda circular con seguridad por la carretera. Para ello, es necesario que el conductor pueda distinguir la demarcación con anticipación y de forma clara para tomar la decisión correcta.

Schwab (1999) plantea dos criterios para evaluar la visibilidad de la señalización vial: por un lado, aspectos “no cuantificables” como la visibilidad y legibilidad y; por el otro, “cuantificables” como el contraste y coeficiente de luminancia retrorreflejada. El contraste define la visibilidad diurna o en ambientes iluminados y, el coeficiente de

luminancia retrorreflejada (retroreflectividad) define la visibilidad en lugares sin iluminación.

Es necesario detenerse en algunas definiciones para comprender los parámetros utilizados en el análisis de la visibilidad de las demarcaciones. Primero, intentaremos describir el nivel de iluminación o iluminancia (E), que es el flujo lumínico que incide sobre una superficie y cuya unidad de medida es el Lux. El mismo se calcula como el cociente entre el flujo recibido por elemento de superficie que contiene el punto y el área de este elemento, como indica el esquema presentado en la Figura 3-A. Otro término de interés es la Luminancia (L) que, matemáticamente es el cociente entre la intensidad luminosa emitida por un elemento de superficie, en una dirección dada, y el área de la proyección ortogonal de este elemento de superficie sobre un plano perpendicular a la dirección (área proyectada o aparente) considerada, cuya unidad de referencia es mcd/m². Para una mejor interpretación, la luminancia es la magnitud que el ojo puede detectar, mide el brillo de las fuentes de los objetos tal como los ve el ojo humano. En la Figura 3-B se realiza una representación gráfica de la misma.

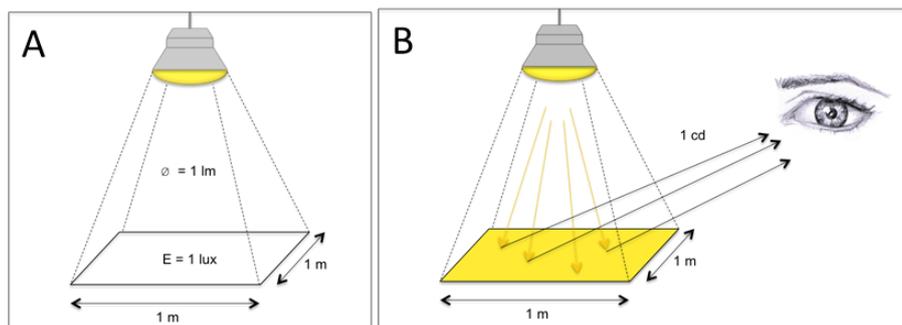


Figura 3-A: Definición de luminancia. B: Definición de iluminancia.
Fuente: <https://grlum.dpe.upc.edu/>.

La medición de la visibilidad diurna de una demarcación está especificada en las normas UNE EN 1436/2009 y ASTM E2302/16, que definen el coeficiente de luminancia bajo iluminación difusa. Este coeficiente permite caracterizar a elementos retrorreflectantes bajo ángulo rasante considerando las condiciones de iluminación diurna o alumbrado público. El símbolo utilizado para su representación es Qd y se calcula como el cociente entre la luminancia (L) de una superficie, observada en ángulo rasante e iluminación difusa considerada sobre el plano de la superficie. En la Figura 4 se presentan las condiciones de medida establecidas para la obtención de Qd según la normativa europea que considera un ángulo de observación de 2,29° y un iluminante patrón D65 alumbrando la zona de medida (Ministerio de Fomento, 2012). El iluminante D65 se corresponde con la luz producida por un cuerpo negro a 6500 Kelvin (la temperatura de color media es de 6504 K), y describe las condiciones

medias de iluminación en un mediodía en Europa Occidental (CIE, 2004). Para continuar, es necesario comentar que este iluminante es uno de los estándares propuestos por la CIE (Comisión Internacional de Iluminación) perteneciente a la serie D (“daylight” o “luz de día”). Esta serie corresponde a situaciones de luz de mediodía en distintas latitudes del mundo, que se describen en términos de temperatura de luz (emisiones de luz producidas por un cuerpo negro al someterse a altas temperaturas) (CIE, 2007).

Estas condiciones de medición simulan una distancia del observador a 30 m para el conductor cuyos ojos se encuentran a una altura de 1,20 m por encima de la calzada.

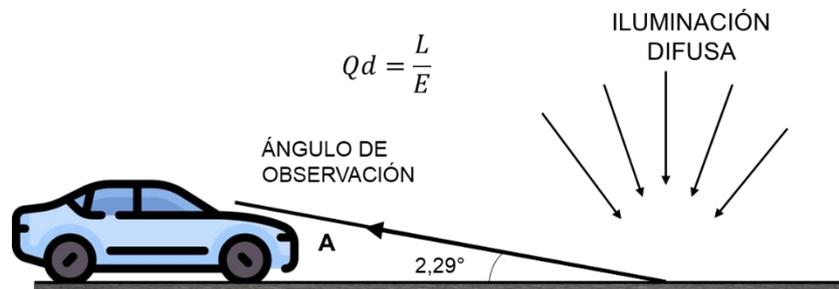


Figura 4. Condiciones de medida del coeficiente de luminancia bajo iluminación difusa
Fuente: Calavia, 1995 (adaptación propia)

Cuando los pavimentos son de color muy claro (por ejemplo, en pavimentos de Hormigón) existe un problema de contraste con las marcas blancas. En estos casos, el Manual de señalamiento horizontal (DNV, 2012) recomienda hacer un rebordeo con un color negro que aumente el contraste con el pavimento.

La **visibilidad nocturna** tiene lugar cuando la iluminación de la marca vial se realiza desde los faros del vehículo. Schwab (1999) explica que la reflexión es un fenómeno natural de la luz y los objetos iluminados, y ocurre cuando un cuerpo o material refleja parte de la luz emitida por una fuente. Los distintos tipos de reflexión se presentan en la Figura 5, y se definen a continuación:

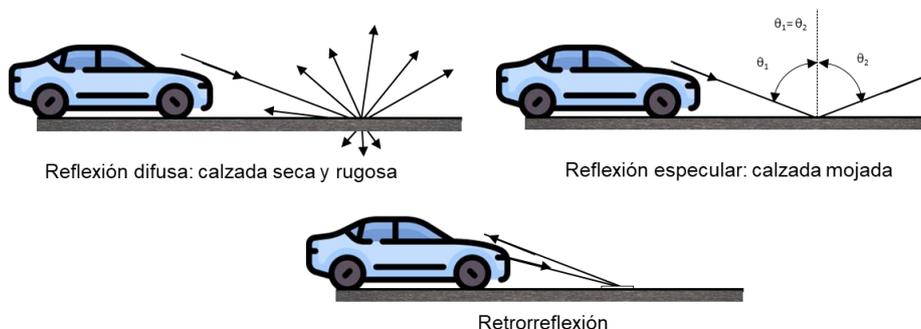


Figura 5. Reflexiones en distintas condiciones de calzada.
Fuente: Calavia, 1995 (adaptación propia)

- Reflexión difusa: la reflexión difusa ocurre cuando la luz del faro incide sobre una superficie rugosa y los rayos de luz se reflejan en varias direcciones. En general, la señalización sin la adición de microesferas provoca este fenómeno. En este tipo de reflexión, escasa parte de la luz regresa a la fuente emisora.
- Reflexión especular: la reflexión especular ocurre cuando la luz incide sobre la superficie y se refleja en la dirección opuesta (el haz reflejado predominante tiene el mismo ángulo de reflexión que el haz incidente, respecto a la normal), y no hacia el conductor. Este tipo de fenómeno se puede observar fácilmente cuando una película de agua cubre las señales de tránsito en el pavimento y la luz del faro brilla, provocando un efecto de espejo (especular).
- Retrorreflexión: La retrorreflexión se produce cuando la luz de los faros del vehículo incide sobre las marcas viales en el pavimento y se dirige a su fuente, haciendo que este material sea visible por la noche.

En consecuencia, el fenómeno de retrorreflexión sugiere niveles de seguridad vial mayores que otros fenómenos que no lo contemplen. Por ello, el nivel de visibilidad se mide a través de la retrorreflexión dispuesta por el sistema de demarcación vial utilizado. Poniendo en consideración los términos definidos anteriormente, la retrorreflexión se evalúa a través del Coeficiente de luminancia retrorreflejada que permite caracterizar a los elementos retrorreflectantes observados e iluminados con ángulo rasante. El símbolo utilizado para su representación es RL y se calcula como el cociente entre la luminancia L de una superficie retrorreflectante en la dirección de observación y la iluminación recibida sobre un plano perpendicular a la dirección de la luz incidente, Figura 6.



Figura 6. Definición de retrorreflexión.
Fuente: elaboración propia

El fenómeno de retrorreflexión se garantiza con el uso de las microesferas de vidrio que se añaden durante el proceso de pintado y se produce debido a que la luz procedente de los faros de un vehículo se refracta por la microesfera y gran parte del haz se refleja por la superficie hundida de la esfera, y retorna en la misma dirección de incidencia. Este detalle es presentado en detalle de la Figura 7.

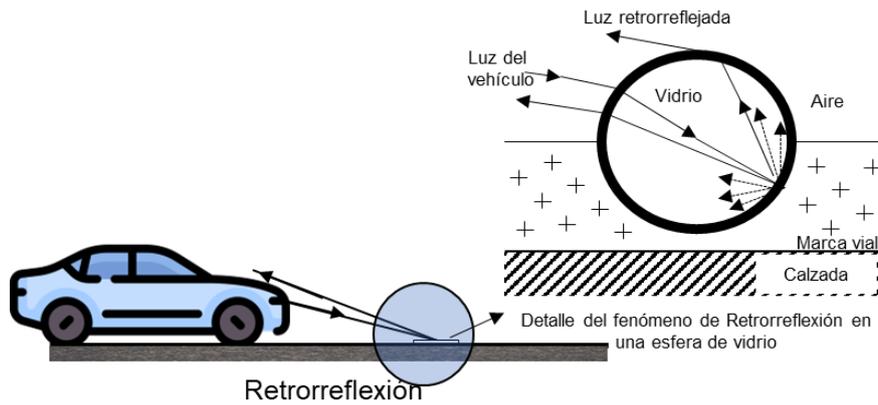


Figura 7. Fenómeno de retroreflexión de las marcas viales.
Fuente: Calavia, 1995 (adaptación propia)

Según la posición del elemento reflector, se encuentre situado a 15 o 30 metros, los ángulos de observación generados determinan la geometría del equipo “de 15 metros” o “de 30 metros”. En diversas normativas se referencia la retroreflexión a 30 metros, entre ellas podemos nombrar la norma ASTM E 1710/18 y la norma UNE EN 1436/09 que, si bien no lo explicita como retroreflexión a 30 m, establece los ángulos correspondientes a dicha geometría. La Figura 8 presenta ambas configuraciones de ángulos correspondiente a la geometría a 15 metros y la configuración de la geometría a 30 metros.

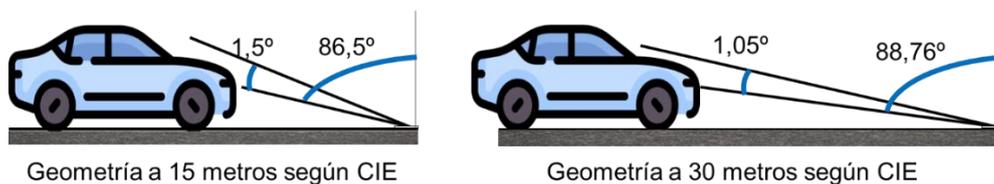


Figura 8. Geometrías según CIE
Fuente: Moreira y Menegon, 2003 (adaptación propia)

Las normas establecen la utilización de un iluminante estándar A. El iluminante CIE A, definido en 1931, es un intento de describir la iluminación de una típica bombilla de filamento incandescente. Su temperatura de color media es de 2.856 Kelvin. Cualquier fuente luminosa cuya curva de distribución espectral se corresponda suficientemente con los datos del iluminante CIE A se considera una fuente A, y la luz que emite se homologa como A (CIE, 2004).

Para medir la retroreflexión existen distintos equipos que simulan las condiciones a las que el conductor visualiza la demarcación vial en la noche. Antes de profundizar en este aspecto, es necesario comentar las consideraciones que se tienen en las geometrías de medida. Como se puede observar en la Figura 8, existe un ángulo en el que las marcas viales son iluminadas por el vehículo y un ángulo de observación, que

corresponde a la visual del usuario. La CIE presenta definiciones de los términos utilizados en el campo de la reflexión de la luz. La Figura 9 ilustra tales condiciones según las configuraciones de ángulos que un vehículo manifiesta sobre la pintura de demarcación vial: (A) ángulo de incidencia (β) definido como el ángulo entre el eje de iluminación y el eje retrorreflector; (B) ángulo de observación (α) caracterizado por el ángulo formado por los ejes de los rayos incidentes y los rayos reflejados y; (C) ángulo de iluminación (ϵ) que corresponde al ángulo formado entre el eje de iluminación y la superficie reflejada (Moreira y Menegon, 2003).

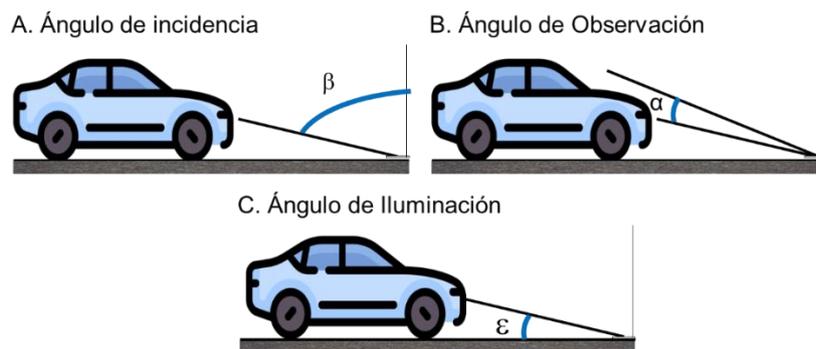


Figura 9. Configuración de los ángulos según CIE utilizados en el campo de la reflexión de la luz

Fuente: Moreira y Menegon, 2003 (adaptación propia)

Para la medición de la retrorreflexión se utilizan equipos conocidos como retrorreflectómetros. Estos dispositivos emiten luz sobre la demarcación del pavimento con un cierto ángulo de incidencia y capturan la cantidad de esta luz que retorna en una cámara cerrada, midiendo el coeficiente de luminancia retrorreflejada (RL). Los equipos también se diferencian por su geometría de medida (“a 15 m” o “a 30 m”) y pueden ser portátiles como presenta la Figura 10-A o dinámicos de acuerdo con la Figura 10-B. El equipo portátil tiene la facilidad de transporte, almacenamiento de datos y lecturas rápidas. Algunas marcas proporcionan equipos con tecnología LED en su sistema óptico, lo que hace que el equipo sea más seguro para el mantenimiento, sin embargo, se debe tener cuidado en cuanto a la ubicación de recolección y seguridad del operador mientras utiliza el equipo en la vía. Los equipos dinámicos, son retrorreflectómetros que se acoplan a vehículos, con un sistema de localización, adquisición de datos y emisión que permite la generación de una superficie luminosa y un sistema de recepción de flujo luminoso.

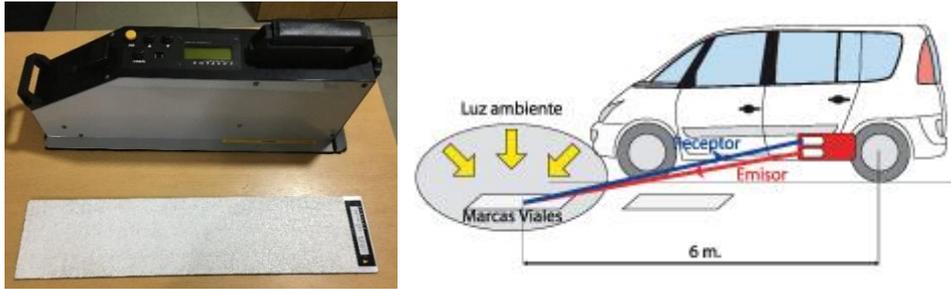


Figura 10- A. Retroreflectómetro portátil. B. Retroreflectómetro dinámico
Fuente: A elaboración propia. B <http://www.euroconsultnt.es>

3. Conclusiones

La demarcación horizontal es vital y necesaria para que un sistema garantice la seguridad vial y debe cumplir con estándares específicos que tienen en cuenta el ángulo de incidencia de la iluminación, el ángulo del observador (conductor) y el tipo de iluminación para reproducir el fenómeno real lo más parecido posible a una visibilidad adecuada, tanto de día como de noche y así poder transitar por las carreteras y áreas urbanas de forma segura.

En ambas condiciones de iluminación, diurna y nocturna, es posible considerar la misma geometría de medida teniendo en cuenta los distintos iluminantes en cada caso. Pero, es pertinente resaltar, que en condiciones diurnas, es importante asegurar un adecuado contraste de la marca con el pavimento y, en condiciones nocturnas, asegurar un nivel mínimo de retrorreflexión de la marca vial.

4. Referencias

CALAVIA D., "Demarcación horizontal – Seguridad vial – La visibilidad de las marcas viales – Aspectos fotométricos – Retrorreflexión", Revista Carreteras, Argentina, n 145, pp. 47 a 55, 1995.

CIE 15. Colorimetry. 3rd Edition ed. 2004, CIE Central Bureau: Vienna, 2004.

CIE, "Standard Illuminants for Colorimetry". ISO, 11664–2, 2007.

Manual de Señalamiento Horizontal Dirección Nacional de Vialidad aprobado por resolución 2501/2012. Buenos Aires, Argentina 2012. Disponible en: <http://www.aacarreteras.org.ar/2019/pdfs/documentos-tecnicos/msh-ebook.pdf>.

MOREIRA H. Y MENEGON R., "Sinalização Horizontal", São Paulo: Master Set Gráfica, 2003.

SCHWAB, M., "Estudo do desempenho dos materiais de demarcação viária retrorrefletivos", 1999.

UNE, "Norma UNE EN 1436: Materiales para señalización vial horizontal. Comportamiento de las marcas viales aplicadas sobre la calzada", 2009.