



COMUNICACIONES
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Equipos de alto rendimiento para la determinación del coeficiente de retrorreflexión

María Guadalupe López Domínguez
Alfonso Pérez Salazar
Federico Castro Mondragón
Oscar Serralde González

Publicación Técnica No. 711
Querétaro, México
2022

ISSN 0188-7297

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Infraestructura en Vías Terrestres del Instituto Mexicano del Transporte, por la M. C. María Guadalupe López Domínguez, el Ing. Alfonso Pérez Salazar y el Ing. Federico Castro Mondragón, con las aportaciones del Ing. Oscar Serralde González de la Coordinación de Normativa en Infraestructura del Transporte.

Esta investigación es el producto final del proyecto de investigación interna II-12/21 Parámetros verificables en equipos de alto rendimiento para la determinación del coeficiente de retrorreflexión.

Se agradece la colaboración del Ing. Agustín Sánchez Olgúin, investigador del Instituto Mexicano del Transporte.

Tabla de Contenido

Sinopsis.....	v
Abstract	vii
Introducción	1
1. Retrorreflexión y marcaje	3
1.1 Materiales reflectantes y visibilidad.....	3
1.2 Índice de refracción.....	6
1.3 Marcaje horizontal.....	8
1.3.1 Pinturas base agua	9
1.3.2 Pinturas termoplásticas.....	9
1.3.3 Microesferas de vidrio.....	10
1.4 Seguridad vial.....	10
2. Determinación del Coeficiente de Retrorreflexión	13
2.1 Color.....	13
2.2 Coeficiente retrorreflexión	14
2.3 Factores que influyen en la retrorreflexión	17
3. Equipos de alto rendimiento para medir retrorreflexión.....	21
3.1 Reflectómetros puntuales.....	22
3.2 Reflectómetros de alto rendimiento	23
4. Verificación de equipos para retrorreflexión.....	25
4.1 Requisitos en el equipo	25

4.2	Parámetros verificables	26
4.2.1	Odómetro	26
4.2.2	Geometría de línea	26
4.2.3	Determinación de coeficiente de retrorreflexión	27
4.3	Entrega de resultados.....	28
4.4	Análisis de la información	29
4.5	Resumen del procedimiento de prueba	29
4.5.1	Nomenclatura de las líneas de pavimento	30
4.5.2	Calibraciones y estandarizaciones	33
4.6	Procedimiento	34
4.6.1	Velocidad del equipo respecto al tipo de línea	34
4.7	Interferencias e influencias del ambiente	34
	Conclusiones	37
	Bibliografía.....	39

Sinopsis

En el presente estudio se realizó la recopilación de la normativa vigente, tanto internacional como nacional, sobre la evaluación con equipos de alto desempeño para la medición del coeficiente de retrorreflexión en el marcaje horizontal de los pavimentos. Se presenta un resumen de la investigación bibliográfica encontrada, y los parámetros verificables en los equipos que actualmente se emplean para la evaluación de este coeficiente en la auscultación y auditorías de la red carretera federal mexicana. Se emite una serie de recomendaciones para su verificación en el levantamiento de dicho parámetro con equipos móviles y el reporte de resultados de los mismos.

Abstract

This document joint the current international and national regulations compiled on the evaluation with high-performance equipment for the measurement of the retroreflection coefficient, on the horizontal marking of pavements. A summary of the bibliographic research found is presented, and the verifiable parameters in the equipment that are currently used for the evaluation of this coefficient in the auscultation and audits of the mexican federal highway network. A series of recommendations are issued for their survey and reporting of results.

Introducción

Dentro de los objetivos de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) está el de proveer una red de carreteras accesible y segura para garantizar la movilidad de personas y mercancías en el país. El IMT, contribuye a este objetivo como proveedor de soluciones al sector transporte y logístico, aportando a la seguridad, sustentabilidad y competitividad con el fin de proporcionar al bienestar de la población del país. Estas contribuciones se logran a través de la investigación aplicada, los servicios tecnológicos y de laboratorio que se realizan en las distintas áreas del Instituto; así como, con la producción de normas, manuales y de las metodologías a seguir para mantener la funcionalidad de la red de comunicación de las vías terrestres.

El presente trabajo atiende la necesidad de distintas dependencias dentro de la Secretaría para la supervisión de los trabajos de evaluación de los coeficientes de retrorreflexión sobre el señalamiento horizontal de carreteras y vialidades urbanas. El IMT, a través de los Laboratorios de Infraestructura, en los últimos veinte años ha realizado verificaciones de los equipos de alto rendimiento empleados para determinar parámetros como el Índice de Irregularidad Internacional, la macrotextura, la profundidad de rodadura, los deterioros, entre muchos otros, para asegurar la calidad de los datos reportados por estos equipos cuando realizan el levantamiento de dichos parámetros en la red carretera federal como parte de los programas anuales de auscultación de carreteras.

La Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) y la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC), evalúan para fines de aceptación el coeficiente de retrorreflexión de las marcas y líneas del señalamiento horizontal en el pavimento a través de equipos puntuales y de alto desempeño para su control. Es necesario contar con un protocolo de verificación para los equipos de alto rendimiento que evalúan el cumplimiento de los coeficientes mínimos de retrorreflexión a velocidad de operación, solicitados por la normativa SICT, lo anterior para marcaje horizontal con pinturas base agua y termoplásticas.

1. Retrorreflexión y marcaje

La retrorreflexión es la capacidad que tiene una superficie, ya sea por su estructura o elementos contenidos, para reflejar la luz hacia la fuente independientemente del ángulo de incidencia del origen de la luz (Meeten, 1986). En las vías terrestres, se contextualiza como la capacidad de una señal de tránsito para reflejar hacia el conductor la luz que emiten los faros de los vehículos.

Cuando las imágenes reflejadas por las superficies se perciben de manera borrosa o difuminada se les llama reflexión difusa; cuando esta reflexión da imagen nítida, entonces es llamada reflexión tipo espejo. La reflexión real percibida por el ojo humano es una combinación de ambas, influenciada por la textura de la superficie reflectante. Por lo que, la retrorreflexión es en particular la reflexión de la luz hacia la propia fuente, sin importar el ángulo de incidencia (Koleske, 2011). Un material retrorreflectante atiende a esta propiedad y se mide como coeficiente de retrorreflexión.

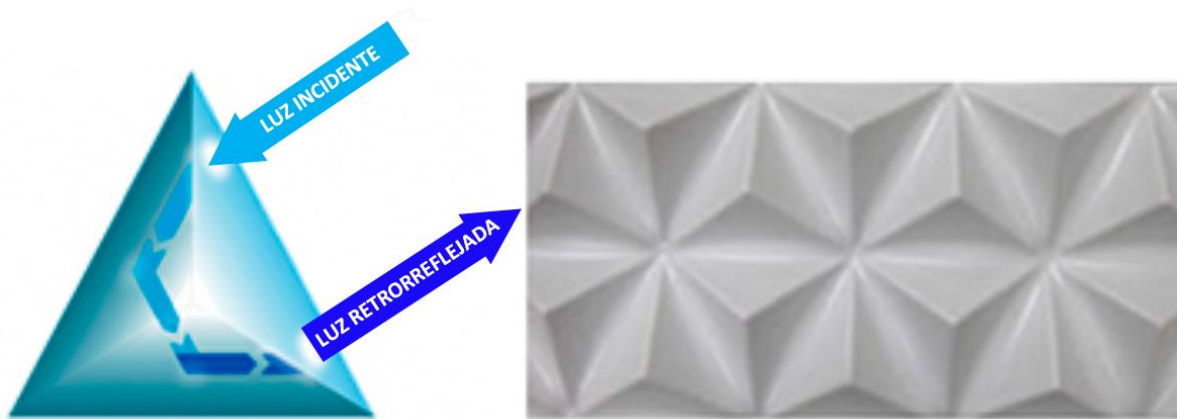
En lo que respecta a seguridad vial, hay más variables además de la retrorreflectividad en las señales que determinan la seguridad de una carretera, entre estas se encuentran la visibilidad de la señal, la luz (si es de día o de noche), el color de la señal y la relación de contraste con la superficie (Justo, 2011). Sin embargo, en la visibilidad nocturna, la retrorreflexión se vuelve preponderante.

1.1 Materiales reflectantes y visibilidad

La reflectancia o reflexión lumínica de una superficie es la capacidad que tiene para reflejar la luz. La reflectancia lumínica es la fracción de luz incidente específica que una superficie refleja (ASTM E 1477); y la retrorreflexión de un material es la capacidad de reflexión en sentido contrario al incidente; esto último, es la propiedad que ayuda al ojo (receptor) a percibir en condiciones de baja iluminación, debido a que muy poca luz se dispersa cuando se refleja, los materiales reflectantes aparecen más brillantes a cierta distancia del observador (ejemplo los conductores de vehículos) (Boily y Tremblay, 2014).

Los materiales retrorreflectantes están caracterizados por el coeficiente de retrorreflexión. Existen materiales retrorreflectantes de dos tipos, los

microprismas y las microesferas de vidrio (García, 2015). Los microprismas retroreflejan la luz como un sistema de tres espejos ordinarios colocados de forma perpendicular entre sí, con la superficie reflejante hacia el exterior (Figura 1.1). Este arreglo de superficies hace que la luz sea reflejada de vuelta a la fuente, logrando la retroreflexión (Meeten, 1986).



Fuente: <https://www.segurolux.com/tecnologia.html>.

Figura 1.1 Arreglo de material de microprisma

En el caso de microesferas de vidrio, la retroreflexión está formada por los elementos ópticos reflectantes y refractantes dispuestos de forma que la superficie focal del elemento que hace la refracción coincida con la superficie reflectora (Figura 1.2).



Fuente: <https://www.segurolux.com/tecnologia.html>.

Figura 1.2 Arreglo de material de microesfera de vidrio

A las superficies a las que se les aplica una capa de un material retroreflectante (microprismas o microesferas) adquieren una capacidad

limitada de retrorreflexión, ya que la estructura interna de la superficie refleja la luz incidente y la refracta hacia la fuente (Meeten, 1986). La aplicación más usual de esta práctica es el marcaje horizontal y vertical de caminos. En ese sentido, la retrorreflexión de una señal de tránsito es la capacidad que tiene esta para devolver reflejada la luz a los vehículos que la emiten. En la mayoría de las aplicaciones comerciales se aplican microesferas de vidrio. La esfericidad, transparencia y la capacidad de curvatura de luz (Índice de Refracción) que poseen las hacen elementos ópticos capaces de retornar luz, usando la pintura de su base como superficie reflectora (García, 2015). El diámetro de las esferas generalmente está entre los 0.3 mm y los 0.6 mm de diámetro (Figura 1.3).



Fuente: Boily y Tremblay, 2014.

Figura 1.3 Microesferas de vidrio: incrementa la visibilidad de las marcas

Toda la señalización tiene una parte de reflexión difusa, donde la luz no se refleja hacia el conductor; este porcentaje depende directamente de la tecnología empleada y la calidad de los materiales. Una buena tecnología hace expandir el cono de reflectividad para mejorar la visión de las señales, de manera que no importa el tipo de luces del vehículo que transite, los ángulos de observación o la velocidad, las señales serán claras y brillantes (García, 2015). La tecnología de los materiales retrorreflectantes ha ido cambiando, sobre todo en las últimas décadas, principalmente debido a la regulación y normativa más exigente sobre la eficiencia y rendimiento que deben de cumplir.

La retrorreflexión se expresa por el coeficiente de la luminiscencia retrorreflejada (R_L). Esta, es determinada por la relación de la línea de

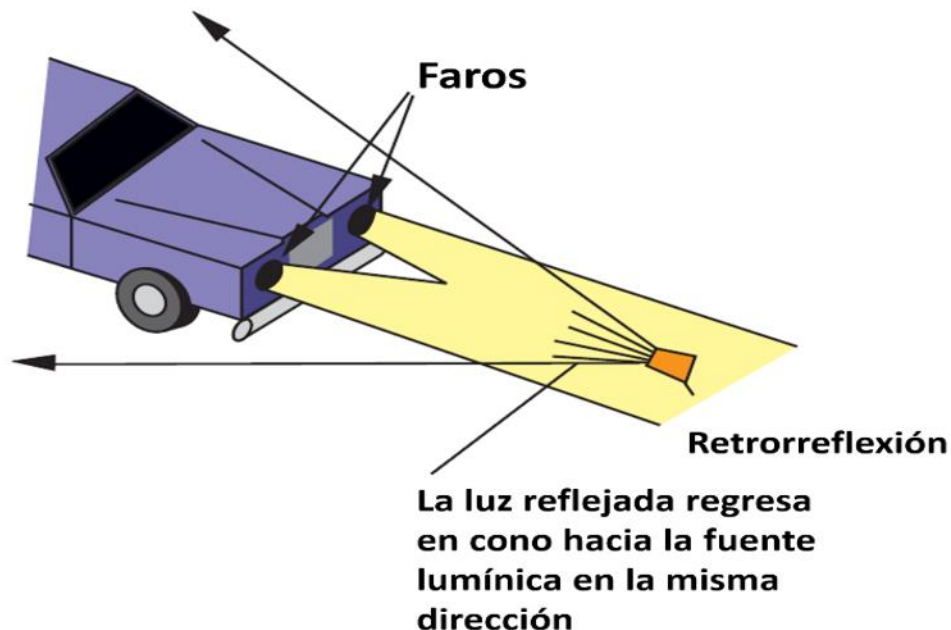
marcaje (L) de la dirección de observación entre la iluminación (E_L) medida a la normal de la superficie (1.1). Las unidades del coeficiente de retroreflexión (R_L) son las milicandelas por lux por metro cuadrado (mcd/lx/m^2).

$$R_L = L/E_L \quad (1.1)$$

Para obtener una visibilidad nocturna adecuada la literatura indica que el coeficiente de retroreflexión deberá ser mínimo de 100 mcd/lx/m^2 e inicialmente de 200 mcd/lx/m^2 (Saunier et al., 2012). Los valores determinados por la SICT se muestran en la Tabla 2.2 del capítulo siguiente de este documento.

1.2 Índice de refracción

El fenómeno físico de la retroreflexión de luz ocurre cuando la luz emitida por los faros de los vehículos, incide en las marcas del pavimento que contiene el material reflectante, generalmente microesferas de vidrio, que está anclado a la superficie de la pintura. Meeten (1986) describe que, en el caso general, las esferas actúan como lentes enfocando la luz y devolviéndola hacia los ojos de los conductores. El índice de refracción del vidrio con el que están hechas las microesferas de vidrio es el que determina la magnitud, intensidad y angularidad con la que la luz regresa hacia los automovilistas (Figura 1.4).

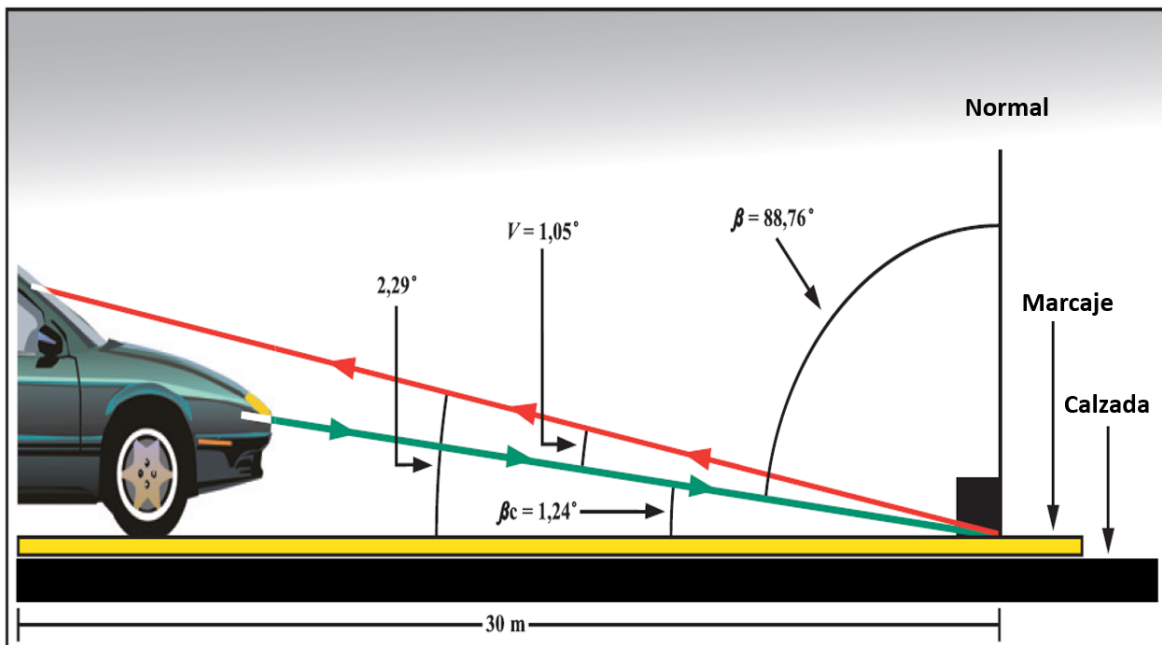


Fuente: modificado de Guía Road Vista, 2020.

Figura 1.4 Retroreflexión lumínica

Por ello, el material de microesferas de vidrio se clasifica respecto a dos parámetros, el índice de refracción y su curva granulométrica. En la normativa de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT) se sugiere que el valor del índice de refracción mínimo sea de 1.5, y para la parte de la granulometría hace una clasificación de acuerdo a la pintura en la que serán sembradas o integradas (base agua o termoplástica) y define la clase de microesfera a emplear.

A mayor capacidad de curvatura de las microesferas, es mayor el índice de refracción, así, el resultado será un cono de retorno de luz más estrecho. En caso contrario, si las microesferas tienen menor capacidad de curvatura de luz, el cono de retorno será amplio, con mayor área de exposición frente al conductor. Esto cobra mayor importancia en los recorridos nocturnos, donde, la intensidad de la fuente lumínica es la misma (para el caso los faros del vehículo); si el cono de retorno de la luz retrorreflejada es más agudo, se concentra más la luz, lo que permite tener una mayor distancia de visibilidad de la señal que contiene las microesferas de vidrio. En caso de que la microesfera cree conos más grandes la distancia de alcance de visibilidad se reduce.



Fuente: modificado de Boily y Tremblay, 2014.

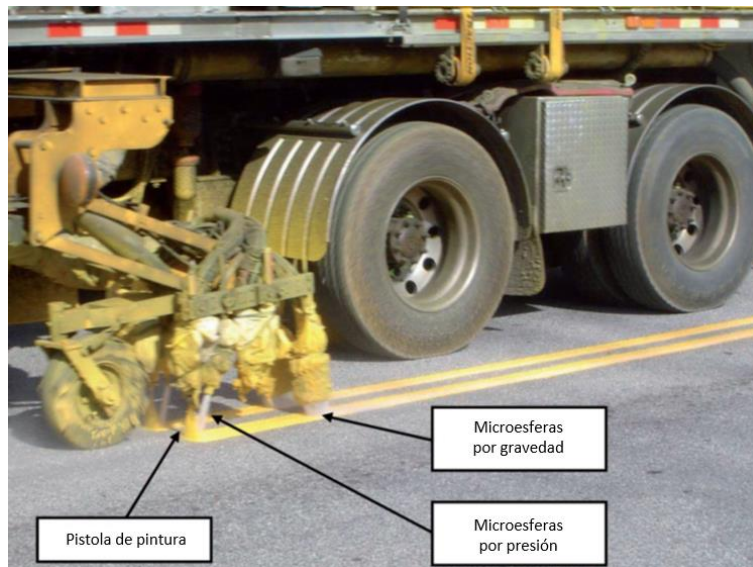
Figura 1.5 Geometría de la retrorreflexión

La retrorreflexión es medida conforme a los parámetros geométricos definidos por la normas internacionales europeas (CEN EN 1436 Road

Marking materials – road marking performance for road users) y las estadounidenses (ASTM E1710 Standard Test Method for measurement of retroreflective pavement marking materials with CEN-Prescribed geometry using portable retroreflectometer) y corresponden a un ángulo de incidencia de la luz (β) de 88.7° con respecto a la normal y un ángulo de observación (V) de 1.05° ; en la literatura se encuentra este ángulo como 1.24° que corresponde al ángulo de incidencia complementario ($\beta_c = 90^\circ - \beta$) (Boily y Tremblay, 2014) (Figura 1.5).

1.3 Marcaje horizontal

La norma oficial mexicana NOM-034-SCT2/SEDATU-2021 define como señalamiento horizontal al conjunto de marcas que se pintan o colocan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras, con el propósito de delinear las características geométricas de las calles y carreteras, y denotar todos aquellos elementos estructurales que estén instalados en el derecho de vía, para regular y canalizar el tránsito de peatones y vehículos, así como proporcionar información a los usuarios; estas son rayas, símbolos, leyendas o dispositivos (NOM-034-SCT2/SEDATU-2021).



Fuente: modificado de Boily y Tremblay, 2014.

Figura 1.6 Aplicación por gravedad y por presión en marcaje

En lo que respecta a las señales que se pintan en el pavimento, estas deben contener los elementos ópticos capaces de enfocar la luz y devolverla en la dirección de la fuente luminosa. Estos elementos tienen las propiedades retroreflejantes, capaces de enfocar la luz y devolverla en la dirección de la fuente luminosa para hacer visible al usuario. Como ya se

ha mencionado, la retrorreflexión es obtenida conjuntamente con los materiales reflectantes (microesferas de vidrio) y las pinturas empleadas para el marcaje. Generalmente, la aplicación se realiza al mismo tiempo, cuando se coloca la pintura, justo después de aplicarla, se siembran las microesferas de vidrio de manera directa (Figura 1.6).

La esfericidad, transparencia y la capacidad de curvatura de luz (índice de refracción) que poseen las hacen elementos ópticos capaces de retornar luz, usando la pintura de su base como superficie reflectora (3M, 2015). En el siguiente capítulo se indican los valores especificados de acuerdo al tipo de pintura requerido por la normativa SICT.

Las pinturas empleadas son base agua y termoplásticas; se utilizan para marcar líneas, símbolos y letras que tienen el objetivo de delinear las características geométricas de las carreteras y vialidades urbanas y denotar todos aquellos elementos estructurales que estén instalados dentro del derecho de vía.

1.3.1 Pinturas base agua

Son elaboradas con mezclas de resinas, polímeros o copolímeros acrílicos, pigmentos orgánicos o inorgánicos. Están formuladas para secado rápido, se emplean en pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico previamente curados. Se aplican a un espesor de película húmeda de 0.381 mm a 1.27 mm, lo que permite el sembrado de diferentes tamaños de microesferas de vidrio.

1.3.2 Pinturas termoplásticas

Son fabricadas con resinas sintéticas sólidas y agentes plastificantes, que juntos, tienen la propiedad de aglutinar el resto de los componentes, como extendedores, pigmentos y microesferas de vidrio que, al fundirse en una mezcla homogénea, proporcionan una unión firme al sustrato sobre el cual se apliquen.

Pueden estar fabricadas con resinas alquidales o de hidrocarburo. Las primeras son pinturas fabricadas con cualquiera de las resinas sintéticas termoplásticas hechas de alcoholes polihidroxi y ácidos polibásicos o sus anhídridos; contienen una resina natural resistente a los efectos de los productos derivados del petróleo, tales como los aceites y combustibles de los vehículos; y las segundas, se fabrican con mezclas de resinas derivadas del petróleo más estables al calor. No son resistentes a los efectos de los productos derivados del petróleo, como los aceites y combustibles de los vehículos.

Se aplican a un espesor de película termoplástica solidificada de 1.52 mm a 3.05 mm y cuando se realicen perfilados su espesor será hasta 12.70 mm.

1.3.3 Microesferas de vidrio

Las microesferas de vidrio que se utilicen con las pinturas base agua y termoplásticas para señalamiento horizontal, se obtendrán a través de un tratamiento del vidrio a altas temperaturas y podrán ser sembradas durante el proceso de aplicación de la pintura o integrarse a las pinturas termoplásticas durante su proceso de fabricación, cuya función será la de mantener la retroreflectividad después de que las microesferas de vidrio sembradas, se hayan desprendido debido al desgaste del espesor de película solidificada, ocasionado por el paso de vehículos sobre la superficie de rodadura.

Dependiendo del tipo de pintura en el que se aplican, se clasifican en:

- Pinturas base agua: clase 1, 2 y mezcla SCT.
- Pinturas termoplásticas: clase 1, 2 y 3.

Las clases 1, 2 y 3 corresponden a la norma AASHTO M-247-13, *Glass Beads used in Pavement Markings*, y la mezcla SCT es una combinación de la clase 1 y 2. La granulometría de las microesferas de vidrio empleadas, se muestran en las Tablas 2.4 y 2.5 en el capítulo siguiente. Igualmente, hay especificaciones como las de la Administración Federal de Aviación (FAA) que regula el uso de microesferas de vidrio con índice de refracción de 1.9 o más. Por lo que se pueden encontrar combinaciones de las propiedades de índice de refracción y granulometría con granulometrías más finas o más gruesas que las indicadas en la Normativa de la SICT. Los valores de reflectividad que puede alcanzar una señal en el pavimento está en función al índice de refracción de las microesferas de vidrio que contenga y del pigmento de la pintura donde se encuentre sembrada.

1.4 Seguridad vial

En México, de acuerdo con el Anuario Estadístico de Accidentes de carreteras federales 2019 incidencia de accidentes viales en carreteras federales, en su última edición, reporta que al año ocurren alrededor de 12 mil siniestros, los cuales cobran alrededor de 3 mil víctimas fatales en el lugar y más de 8 mil lesionados al año. De manera general, de estos accidentes, cerca del 70 % son atribuibles al conductor, el 18 % a la infraestructura, en el que las condiciones de pavimento mojado (resbaloso) es la causa más referida; el 8 % a agentes naturales, como la lluvia; y el casi 4 % restante al vehículo, reportándose falla en las llantas

como el más usual. En estos incidentes, existe la combinación de factores como condiciones de penumbra u oscuridad y tránsito intenso.

Como ya se ha descrito, la importancia de los elementos retrorreflejantes en el marcaje horizontal, radica en la capacidad de sus elementos en reflejar la luz hacia los conductores a distancias donde el aperecibimiento de la información de dichas señales sea seguro.

Se sabe que la visibilidad es seguridad, lo cual es el objetivo de las marcas viales y señales de tránsito. Así, los requisitos técnicos para que una señal cumpla con su función es definir la capacidad de que estas sean visibles a una mayor o menor distancia y a ciertas condiciones atmosféricas. Organismos internacionales como la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (*American Society for Testing and Materials*, ASTM por sus siglas en inglés) y el Comité Europeo de Estandarización (*European Committee for Standardization*, o CEN) han definido diversos parámetros relacionados con la visibilidad que son evaluados cuantitativamente y están basados en la reflectividad o capacidad de los materiales para reflejar la luz de su entorno.

Los parámetros que más influyen sobre la seguridad de los usuarios son la visibilidad diurna, en donde el color y la relación de contraste son determinantes; y para la visibilidad nocturna, la retrorreflexión es el factor que juega el papel más importante.

Sobre las condiciones atmosféricas que cobran mayor interés, está la capacidad de mantener la retrorreflexión en condiciones de lluvia, ya que este aspecto se ve afectado por la presencia de un tirante de agua, ya que interfiere bloqueando la geometría de las microesferas de vidrio. La reflexión de la luz al ingresar al agua se curva, y tiene un ángulo distinto al ingresar a la curva de la microesfera lo que hace insuficiente la incidencia lumínica para un índice refracción convencional (1.6 o 1.9), que la hace incapaz de devolver la luz a la fuente, y lo hace en un ángulo distinto, entre 60° y 90° respecto a la horizontal. Algunos estudios recientes, indican que para que el elemento reflectivo sea eficaz para condiciones de lluvia, debe de contar con un índice de refracción de 2.4.

2. Determinación del Coeficiente de Retrorreflexión

2.1 Color

Los colores que se utilizan en las marcas viales se expresan en términos de coordenadas de cromaticidad de acuerdo con el sistema estandarizado de la Comisión Internacional de Iluminación (*Commission Internationale de l'Éclairage*, CIE) para determinar el color (1931), medido con una fuente luminosa estándar tipo “D65”, (x,y), medidas en las mismas condiciones que para el factor de luminancia β .

Las coordenadas de cromaticidad a medir con los espectrofotómetros están indicadas en las tablas de color para pavimento blanco y amarillo por la norma estadounidense ASTM (D6628), la norma europea CEN (EN 1436) o en el proyecto de norma oficial mexicana PROY-NOM-034-SCT2/SEDATU-2021, Señalización y dispositivos viales para calles y carreteras (vease Tabla 2.1), las que pueden especificar también para otros colores como el rojo utilizado para rampas de frenado de emergencia.

Tabla 2.1 Coordenadas que definen las áreas cromáticas para los colores que se utilicen en las marcas para señalamiento horizontal

Color	Punto N°	Coordenadas	
		X	Y
Blanco	1	0.355	0.355
	2	0.305	0.305
	3	0.285	0.325
	4	0.335	0.375
Amarillo	1	0.560	0.440
	2	0.490	0.510
	3	0.420	0.440
	4	0.460	0.400

Color	Punto N°	Coordenadas	
		X	Y
Verde	1	0.295	0.495
	2	0.365	0.465
	3	0.330	0.405
	4	0.260	0.435
Azul ^[1]	1	0.105	0.100
	2	0.220	0.180
	3	0.200	0.260
	4	0.060	0.220
Azul ^[2]	1	0.130	0.190
	2	0.135	0.300
	3	0.227	0.300
	4	0.200	0.180
Rojo	1	0.480	0.300
	2	0.690	0.315
	3	0.620	0.380
	4	0.480	0.360

Notas: [1] Para uso en carreteras; [2] Para uso en calles.

Fuente: PROY-NOM-034-SCT2/SEDATU-2021

2.2 Coeficiente retrorreflexión

La determinación cualitativa de la retrorreflexión de una marca de pavimento es conocido como coeficiente de retrorreflexión. El coeficiente de retrorreflexión se calcula como el cociente entre la luminancia de una zona de marca vial en una dirección dada y la iluminancia de esa zona. Este coeficiente se expresa en milicandelas por metro cuadrado y por lux (mcd/lx/m^2) y se obtiene de una zona de la marca vial (Austin y Schultz, 2020).

Convencionalmente la medición del coeficiente de retrorreflexión se realiza en campo con equipos llamados reflectómetros, los cuales, de manera puntual o a velocidades de operación, miden los valores de la

reflexión en un ángulo de entrada de $88.76^{\circ} \pm 0.01^{\circ}$ y un ángulo de observación de $1.05^{\circ} \pm 0.01^{\circ}$ (ASTM E1710-18). El PROY-NOM-034-SCT2/SEDATU-2021, indica los valores de los coeficientes mínimos de retrorreflexión para pinturas base agua y termoplásticas (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Coeficiente de retrorreflexión para señalamiento horizontal

Color	Coeficiente mínimo de retrorreflexión (mcd / lx) / m ²					
	Pintura base solvente y base agua			Pintura termoplástica		
	Inicial	A 180 días	Vida de proyecto	Inicial	A 180 días	Vida de proyecto
Blanco	250	150	100	300	250	150
Amarillo	200	150	50	250	175	100
Verde	24	16	8	37	28	17
Azul ^[1]	14	9	4	20	13	6
Azul ^[2]	14	9	4	20	13	6
Rojo	35	24	11	51	39	23

Notas: [1] Para uso en carreteras; [2] Para uso en calles.

Fuente: PROY-NOM-034-SCT2/SEDATU-2021

La medición del coeficiente de retrorreflexión se realiza a velocidades de operación, y adquiere particular relevancia en condiciones de neblina, lluvia y nocturnas. Los elementos ópticos que le darán las propiedades retrorreflectantes a las marcas serán para el caso, las microesferas de vidrio. Para que estas cumplan con los niveles requeridos por el PROY-NOM-034-SCT2/SEDATU-2021, se deberán cumplir los requisitos químicos y físicos; además de ser conveniente la presencia de silano en la superficie, para mejorar su adherencia con las pinturas base agua (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Requisitos químicos y físicos de las microesferas de vidrio

Característica	Valor
Esfericidad, %, mínimo	70
Resistencia a agentes químicos ^[1]	No presentará manchas de corrosión ni opacidad en exceso
Resistencia a la humedad superficial	Pasar libremente por el embudo de prueba
Índice de refracción	1.5 a 1.6
Contenido de sílice, %, mínimo	60

Notas: [1] Utilizando agua destilada, cloruro de calcio y sulfuro de sodio

Fuente: PROY-NOM-034-SCT2/SEDATU-2021

Igualmente, se establecen las características granulométricas que deben de cumplir las microesferas de vidrio según el tipo de pintura a la que se agreguen (Tabla 2.4 y 2.5). Estas se obtendrán de acuerdo a la norma ASTM D1214-10, reprobada en el 2020, que habla sobre el método estándar para el análisis por malla de microesferas de vidrio.

Tabla 2.4 Granulometría de las microesferas de vidrio para pinturas base agua

Malla		Clase de microesfera		
Abertura, mm	Designación	1 ^[1]	2 ^[1]	Mezcla SCT
		Porcentaje que pasa		
1.18	N°16	100	100	100
1.00	N°18	---	---	---
0.850	N°20	95 a 100	90 a 100	80 a 97
0.710	N°25	---	---	---
0.600	N°30	75 a 95	50 a 75	50 a 80
0.425	N°40	---	15 a 45	---
0.300	N°50	15 a 35	0 a 15	0 a 10
0.180	N°80	---	0 a 5	---
0.150	N°100	0 a 5	---	---

Notas: [1] AASHTO M-247-13, Glass Beads used in Pavement Markings

Fuente: PROY-NOM-034-SCT2/SEDATU-2021

Tabla 2.5 Granulometría de las microesferas de vidrio para pinturas termoplásticas

Malla		Clase de microesfera ^[1]		
Abertura, mm	Designación	1	2	3
		Porcentaje que pasa		
1.70	N°12		—	100
1.40	N°14		—	95 a 100
1.18	N°16	100	100	80 a 95
1.00	N°18	---	---	10 a 40
0.850	N°20	95 a 100	90 a 100	0 a 5
0.710	N°25	---	---	0 a 2
0.600	N°30	75 a 95	50 a 75	---
0.425	N°40	---	15 a 45	---
0.300	N°50	15 a 35	0 a 15	---
0.180	N°80		0 a 5	---
0.150	N°100	0 a 5		

Notas: [1] AASHTO M-247-13, Glass Beads used in Pavement Markings

Fuente: PROY-NOM-034-SCT2/SEDATU-2021

La cantidad de microesferas de vidrio en la película en húmedo, para pinturas base agua será la que se indica en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Cantidad y clase de microesferas de vidrio en la película en húmedo para pinturas base agua

Tipo de pintura	Cantidad de microesfera, (kg/m ²)	
	Integradas	Sembradas, mínimo
Base agua	---	0.330
Termoplástica	0.57 a 0.69	0.330

Fuente: N-CMT-5-01-001/13

El ancho de la raya separadora de sentidos de circulación, las rayas separadoras de carriles y las rayas en las orillas del arroyo vial, deben contar con la geometría indicada en el PROY-NOM-034-SCT2/SEDATU-2021, donde indica el señalamiento; para una carretera de dos o más carriles por sentido de circulación el ancho será de 15 cm, y en carreteras de un carril por sentido de 10 cm (Tabla 2.7).

Tabla 2.7 Cantidad y clase de microesferas de vidrio en la película en húmedo para pinturas

Tipo de calle o carretera	Ancho de la raya ^[1] (cm)
• Carretera de dos o más carriles por sentido de circulación	15
• Carretera con un carril por sentido de circulación	10
• Calle	10
• Vía ciclista	10

Notas: [1] En tramos donde existan problemas de visibilidad por condiciones climáticas adversas u otros factores que puedan poner en riesgo al usuario, se utilizarán rayas hasta del doble del ancho indicado; [2] Cuando el ancho de corona sea de 12 m, se deben utilizar rayas de 15 cm de ancho.

Referencia: PROY-NOM-034-SCT2/SEDATU-2021

2.3 Factores que influyen en la retrorreflexión

Para que la retrorreflexión sea óptima, deben considerarse características de la microesfera como:

- Calidad: la esfericidad de la microesfera debe ser la correcta, las imperfecciones, las fracturas en el material o un embebimiento excesivo en la pintrura afecta su afectividad para retroreflejar la luz.

- Índice de refracción adecuado: la refracción debe ser de al menos 1.5 para permitir la desviación de la luz y lograr la retroreflección apropiada.
- Nivel de penetración: con la finalidad de que la luz tenga un retorno óptimo, el nivel de la penetración de la microesfera de vidrio en el marcaje es importante. Idealmente, deben estar embebidas o sembradas entre un 40 % y 60 % en la pintura de marcaje.
- Cantidad: si la cantidad de microesfera de vidrio aplicada no es suficiente, igualmente la luz reflejada al conductor será pobre, en el que se aprecia un efecto sombrío de la señalización.
- Dispersión: al igual que la cantidad, la dispersión debe asegurarse de manera uniforme para lograr la retroreflección.
- Revestimiento: cada una de las microesferas de vidrio debe de contar con un revestimiento que asegure la retención de la retroreflección, este puede ser a base de silicon o silano.
- Calidad del pigmento: el color o pigmento tiene una influencia directa ya que juega el papel de espejo para reflejar la luz. En general el dióxido de titanio (TiO_2) en las microesferas de vidrio se encarga de esto y en las pinturas blancas su valor de retroreflección es generalmente del 20 % al 35 % superior que el contenido en las pinturas de color amarillo.

La determinación de retroreflección es afectada por factores externos, como los factores climáticos, ya que en presencia de nieve o lluvia la efectividad de la retroreflección de las microesferas del marcaje se verá reducida por quedar cubiertas por materiales que dispersan la luz. La arena, suciedad y otros materiales que puede acumularse sobre las marcas en las carreteras, igualmente afectarán la funcionalidad de las marcas en términos de retroreflección.

La humedad en el aire y la humedad en la superficie de las marcas de pavimento, el agua superficial, y otros presentes reducen la cantidad de luminiscencia retroreflejada debido a la luz reflejada por el agua fuera del alcance del detector.

Debido a que los efectos de los factores del medioambiente son difíciles de medir y pueden variar de manera dramática, debe evitarse realizar la prueba si se presentan estas condiciones. Debe realizarse una adecuada

limpieza de los láseres y de la ventana del detector óptico antes de cualquier recolección de datos.

Finalmente, la regularidad del pavimento o superficie donde son colocados los marcajes pueden inducir un efecto de sombras que disminuyan la retroreflexión debido a que el ángulo de incidencia y el de observación son débiles, pueden ser afectados por la más mínima protuberancia en la superficie del pavimento.

3. Equipos de alto rendimiento para medir retrorreflexión

Existen equipos para evaluar los coeficientes de retrorreflexión de señalamientos tanto verticales como horizontales, pero como ya se ha expuesto, el alcance de la presente investigación es sobre marcaje horizontal, así que solo se tratarán aspectos relacionados a los equipos que miden esta condición.

Los equipos de alto rendimiento miden parámetros superficiales y estructurales: índice de regularidad internacional (IRI), macrotextura, profundidad de rodera, deterioros, entre otros, a velocidades de operación de las carreteras y caminos. Con estos equipos, se tienen resultados de auscultación de manera rápida y eficiente para la toma de decisiones sobre trabajos de mejora en la red existente, o para la verificación de los parámetros de calidad en temas de indicadores superficiales y/o estructurales en la entrega de proyectos de infraestructura. Igualmente, la evaluación del coeficiente de retrorreflexión en las señalizaciones del camino, requiere de equipos y métodos para su control. Estos equipos requieren ser calibrados y verificados para asegurar que cuentan con los aspectos básicos para entregar mediciones confiables.

Para medir la capacidad o nivel de retrorreflexión de una señal, se tiene que determinar el coeficiente de retrorreflexión y conocer así la eficiencia del marcaje de una vía o camino. Para esta finalidad, existen equipos llamados reflectómetros, los cuales, pueden ser portátiles o estar instalados en vehículos para poder realizar mediciones continuas (Austin y Schultz, 2020). Estos últimos, proporcionan mediciones de manera más rápida y precisa para la toma de decisiones sobre trabajos de mejora en la red existente, o para la verificación de los requerimientos de supervisión y calidad. Ya sean puntuales o de medición continua, ambos equipos requieren ser calibrados y verificados para asegurar que cuentan con los aspectos básicos para entregar mediciones confiables.

La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (*American Association of State Highway and Transportation Officials*, AASHTO por sus siglas en inglés) en su método estandarizado TP 111-14 refiere a la medición de las propiedades retrorreflejantes de los materiales en el marcaje horizontal de pavimentos en seco, empleando un equipo

retroreflectómetro móvil basándose en la geometría referida en la CEN y la ASTM E 1710. Con respecto a la normativa nacional, la Normativa para la Infraestructura del Transporte (NIT) de la Secretaría, específicamente el PROY-NOM-034-SCT2/SEDATU-2021, indica la reflexión mínima que deben cumplir las señales y marcaje horizontal en los pavimentos mencionadas en el Capítulo 2, Tabla 2.1 e igualmente indica los tiempos a los cuales este parámetro debe ser determinado después de la realización del marcaje (ver Tabla 2.2).

Actualmente, en el mercado existen equipos que realizan estas mediciones de forma puntual (lecturas estáticas) y equipos que lo consiguen a velocidad de operación para un camino o carretera. Estos últimos son los que se denominan reflectómetros de alto rendimiento o móviles.

Al igual que cualquier equipo que es utilizado para realizar mediciones de magnitudes, estos equipos deben tener un programa de calibración y además contar con un patrón portátil de calibración en campo que permita conocer antes de cada uso si se encuentra en condiciones adecuadas para realizar la evaluación. De esta manera es posible conocer si las desviaciones que pueda tener se encuentran en un rango que las haga confiables.

3.1 Reflectómetros puntuales

Además de ser portátiles, deben cumplir con una geometría de medición especificada por la norma ASTM E-1710, que describe el método estándar para medir la retroreflexión del material en las marcas de pavimento. Esta norma describe además de las características que deben tener los equipos de medición, el método de prueba para realizar las mediciones correspondientes. En términos generales, dicha norma establece que antes de iniciar con las mediciones se debe verificar que el equipo cumpla con una geometría de medición especificada por el Comité Europeo de Estandarización (CEN, por sus siglas en inglés). Dicha geometría considera un ángulo de entrada de 88.76° y un ángulo de observación de 1.05° .

Después de realizar mediciones del coeficiente de retroreflexión sobre la marca a evaluar, debe tenerse cuidado de dos aspectos básicos: el área del lente de medición del equipo debe coincidir con el ancho de la línea evaluada y las mediciones deben hacerse en el sentido del tráfico (Figura 3.1).



Fuente: <https://latitud-19.com/senalizacion-vial/>

Figura 3.1 Determinación puntual del coeficiente de retrorreflexión

3.2 Reflectómetros de alto rendimiento

En el mercado, existen los reflectómetros móviles que son equipos montados en vehículos para determinar de manera autónoma el coeficiente de retrorreflexión. (García, 2015). Los equipos pueden constar de características como instrumentación complementaria para posicionamiento georreferenciado (GPS), para facilitar la ubicación de los tramos revisados; impresoras para la entrega de resultados; medidores de color, para detectar estos cambios en los marcajes; entre otros dispositivos. Deben contar con la capacidad de almacenar la información en una memoria interna que permita trasladarla en gabinete a equipos de cómputo, así como la medición de la longitud recorrida. Ambos tipos de información, deben de ser consultables en gabinete para su análisis y gestión. (Figura 3.2).



Fuente: Austin y Schultz, 2020

Figura 3.2 Equipo retroreflectómetro móvil Road Vista

Para las marcas en el pavimento, la Administración Federal de Carreteras (*Federal Highway Administration*, FHWA por sus siglas en inglés) ha adoptado la geometría de distancia de observación de 30 metros, que representa lo que percibe un conductor promedio sobre su vehículo, y para este supuesto deben de medir y reportar la retroreflexión los equipos para un ángulo de entrada $88.76^{\circ} \pm 0.01^{\circ}$ y un ángulo de observación de $1.05^{\circ} \pm 0.01^{\circ}$. Esta distancia es una estandarización que rige igualmente en normativa europea y fue tomada por FHWA de manera posterior (Austin y Schultz, 2020).

La Administración Federal de Aviación (FAA por sus siglas en inglés) solicita emplear microesfera con índices de refracción entre 1.5 y 2.4, con una combinación de granulometría fina y gruesa debido a que las exigencias de la retroreflexión son mayores por la velocidad a la que se conducen las aeronaves. Estas especificaciones buscan que la microesfera sea capaz de reflejar la luz en condiciones de lluvia (García, 2015). Las mediciones se realizan conforme a los procedimientos contenidos en la norma ASTM E2176-08 (retirada en 2013) y en la ASTM E2117-20 vigente, las cuales refieren al método estándar para medir el coeficiente de retroreflexión en marca de pavimento con humidificación continua y en condiciones húmedas, respectivamente. La primera se refiere a un escenario de lluvia continua y la segunda solo para condiciones de pavimento humedecido.

4. Verificación de equipos para retrorreflexión

Para proveer una red carretera segura y accesible para contribuir a la movilidad de personas y mercancías en todo el país, la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) a través del Instituto Mexicano del Transporte tiene la tarea de verificar los equipos de alto rendimiento que dan servicio a la SICT midiendo parámetros superficiales y estructurales como índice de regularidad internacional (IRI), macrotextura, profundidad de rodera, deterioros, entre otros a velocidades de operación. De manera análoga, se realizará la verificación para los equipos que evalúan coeficiente de retrorreflexión en el pavimento.

Debido a que uno de los inconvenientes que se tiene en la medición de los marcajes de pavimentos es la inconsistencia en las mediciones, para reducirla, se han tomado lineamientos y consideraciones, en principio, en los materiales con los que se realizan, como las especificaciones ya comentadas; en la certificaciones que emite el fabricante, como el contar con un certificado de calibración en la normativa internacional referida (Austin y Schultz, 2020); y tener una metodología estandarizada para la verificación del funcionamiento de estos equipos para la geometría de la línea de marcaje, detección de colores, y por supuesto, el coeficiente de retrorreflexión determinado.

Así, se desarrolla el protocolo de verificación para los equipos reflectómetros móviles considerados de alto rendimiento por la velocidad en la entrega de las mediciones. Se consideran los parámetros de medición de distancia, geometría de la línea de marcaje (horizontal), determinación de color, se consideran el blanco, el amarillo y se hace inclusión al rojo por ser el normado en marcaje para rampas de frenado de emergencia.

4.1 Requisitos en el equipo

Los equipos reflectómetros móviles capaces de reportar la retrorreflexión deben contar al menos con:

- Sistema óptico de emisión: el cual consta de una lente plana concava que transforma el haz de luz (865 Hz) proveniente de una lámpara en un haz paralelo.

- Bloque óptico de recepción: pantalla de protección de vidrio, lentilla plana convexa destinada a focalizar el haz retroreflejado en un ángulo de 2.29° con respecto a la horizontal.
- Circuitos receptores: para procesamiento de señal de los fotodiodos.
- Instrumentación para georreferencia: posicionamiento GPS de la medición.

Adicionalmente, puede incluir almacenamiento automático de datos o realizarlo de manera manual.

4.2 Parámetros verificables

En este apartado se establece la parte principal del protocolo de verificación para los equipos reflectómetros móviles considerados de alto rendimiento por la velocidad en la entrega de las mediciones y la manera en que es realizada la medición. Los parámetros como la precisión en la medición de distancia, la detección de la geometría de la línea de marcaje (línea horizontal), el determinar el color de la pintura (blanco o amarillo), son los de interés. En casos donde sea alcance del equipo, también se determinarán los valores respectivos para el color rojo.

4.2.1 Odómetro

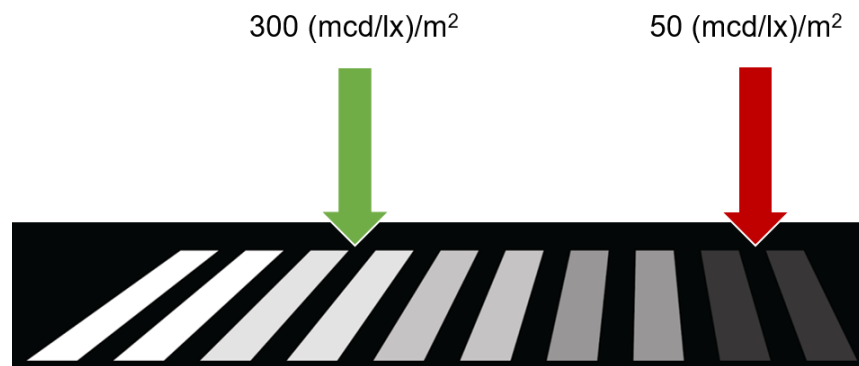
Para las determinaciones de retroreflectividad, se verificará de manera inicial que el equipo cuente con un odómetro o dispositivo para determinación de distancia (DMI) para el reporte de los datos; de manera adicional puede contar con el instrumento GPS para georreferenciar las mediciones. La distancia debe ser reportada con un ± 0.1 % de exactitud (AASHTO TP 111-14). El coeficiente se reporta en función de la distancia recorrida, con una frecuencia de recolección de 30 datos puntales por cada 1.6 metros.

4.2.2 Geometría de línea

Con respecto a la geometría de línea, los equipos deben ser capaces de detectar las diferencias de entre 10 cm a 15 cm de ancho en la línea de marcaje, y contar con una resolución longitudinal mayor a 7.6 cm para una

velocidad de 110 km/h, y a 3.5 cm para 50 km/h. El área de medición del instrumento debe ser de 1 metro de ancho mínimo.

Igualmente, la capacidad de la detección de colores (amarillo, blanco y, cuando sea posible, rojo) así como, la sensibilidad de medir entre patrones de coeficiente de retrorreflexión entre 250 (mcd/lx)/m² y 35 (mcd/lx)/m² solicitado como requerimiento mínimo para inicio de proyecto por el PROY-NOM-034-SCT2/SEDATU-2021 (Figura 4.1). Lo último, atiende también a las recomendaciones emitidas por la FHWA, basadas en un estudio del 2020 donde resume que la retrorreflectividad promedio en los Estados Unidos, fue de 170.4 (mcd/lx)/m² con una desviación estándar de 123.6 (mcd/lx)/m², en el que se detectó que esta puede ser hasta 24 % menor debido al cambio de estaciones (primavera y otoño) (Austin y Schultz, 2020).



Fuente: modificado <https://bloglanammeucr.wordpress.com/tag/retrorreflectividad/>

Figura 4.1 Variación ilustrativa de la retrorreflectividad

Para lo anterior, se contarán con las referencias entre rangos de 350 a 50 mcd/lx/m² para colores blanco y amarillo, diferenciando entre anchos de línea para verificar la detección del equipo de la geometría de línea.

4.2.3 Determinación de coeficiente de retrorreflexión

Debido a que la mayoría de estos equipos cuentan con un procedimiento de calibración previa a la medición, este deberá de efectuarse de acuerdo al fabricante antes de las determinaciones de retrorreflexión en la verificación. Es recomendable que el equipo sea montado siempre en el mismo vehículo por lo que se registrará este como parte de los datos en la verificación, esto, ya que la mayoría de los equipos móviles son sensibles al

cambio de vehículo y a las personas que lo tripulan durante las mediciones.

El instrumento retroreflectómetro deberá ser montado con facilidad al vehículo sin necesidad de efectuar modificaciones o alteraciones al equipo o al vehículo. Si la calibración previa es realizada correctamente, el margen de error será menor al 10%; las variaciones pueden ser debidas a las condiciones de uso, a la temperatura y humedad relativa (Boily y Tremblay, 2014).



Fuente: Hoja Técnica LaserLUX, Road Vista)

Figura 4.2 Equipo retroreflectómetro móvil

Las referencias deben comprender mediciones entre 350 mcd/lx/m² y hasta los 50 mcd/lx/m² con variaciones intermedias para los colores blanco y amarillo; los equipos retroreflectómetros móviles determinarán para al menos dos (2) velocidades de operación, las cuales serán 60 y 80 km/h; con al menos 4 repeticiones para cada velocidad con la finalidad de calcular la variabilidad de la medición en el equipo.

4.3 Entrega de resultados

El instrumento retroreflectómetro deberá reportar las mediciones realizadas en tiempo real. Las mediciones deberán ser tomadas por el instrumento de modo que se simule la perspectiva del conductor a la velocidad de operación de la carretera (60 y 80 km/h).

Se deberán reportar las coordenadas de cada una de las mediciones y se entregarán en una tabla que contenga la información levantada para el coeficiente de retroreflexión, con información como número de lectura,

lectura del odómetro, fecha, hora, coordenadas GPS, velocidad del vehículo, adicionalmente, los archivos o reportes directamente generados por el equipo con información como temperatura ambiente, humedad, número de escaneos válidos, valor máximo, valor mínimo y valor promedio (Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Ejemplo de reporte de datos de verificación señalamiento horizontal

Medición no.	Coefficiente de retrorreflexión medido (mcd/lx/m ²)	Fecha (aaaa/mm/dd)	Hora (24:00)	Ubicación	Color	Ancho de línea (cm)	Velocidad (km/h)	Odómetro (km)
1								
2								
3								
4								
...								

4.4 Análisis de la información

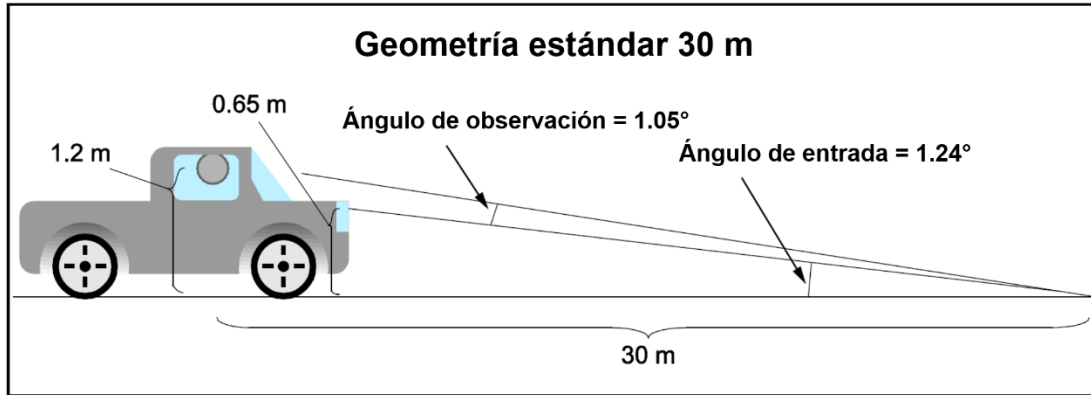
Para determinar la repetibilidad y consistencia de los datos reportados en el equipo, se realizará un análisis estadístico para descartar las desviaciones que pudieran generar incertidumbre en las mediciones y no haya evidencia estadística de que el equipo mida de manera distinta a los valores de referencia a través del análisis de “t de *student*” para muestras pequeñas ($n < 30$).

Se emitirá un informe de verificación con los datos del equipo, identificación, características, resultados de los parámetros verificados en el Instituto y conclusiones. El informe contiene los elementos de autenticación necesarios para validar la información a las condiciones de operación y funcionamiento del equipo.

4.5 Resumen del procedimiento de prueba

La medición de la luminiscencia retrorreflejada con un MRU debe de ser a una distancia de 30 metros (Figura 4.3) y con los ángulos especificados.

La entrada del ángulo es a 88.76° (ángulo de entrada 1.24°) y el ángulo de observación es de 1.05° .



Fuente: modificado de AASHTO TP-111-14

Figura 4.3 Geometría estandarizada especificada en ASTM E1710

El equipo debe ser calibrado de acuerdo a las especificaciones del fabricante. La retroreflectividad se medirá con el equipo MRU por toda la sección de la carretera. Los datos de la retroreflectividad deben ser recolectados, procesados, analizados y reportados usando el programa (*software*) de acuerdo al fabricante del MRU.

Este método permite la medición de la luminiscencia de la retroreflexión en seco del marcaje de pavimentos en servicio en carreteras a velocidades de operación. Como tal, este método de prueba es aplicable a la evaluación de la calidad de la técnica del marcaje de pavimentos.

La calidad del marcaje de los pavimentos es determinada por el coeficiente de retroreflexión de la luminiscencia, R_L , el cual depende del material usado, la edad, y los patrones de desgaste. Estas condiciones deben ser determinadas y anotadas por el usuario.

La luminiscencia del marcaje de pavimentos se degrada con el desgaste del tránsito y requiere de mediciones periódicas para asegurar la eficiente visibilidad y seguridad para los conductores.

4.5.1 Nomenclatura de las líneas de pavimento

Se propuso una nomenclatura estándar convencional para identificar cada línea del pavimento sin importar el número de carriles. La Tabla 4.2 muestra la nomenclatura de las líneas en pavimento, esta incluye el sentido del recorrido seguido por el tipo de línea. Para líneas discontinuas, se inserta un número entre el sentido del recorrido y el tipo de línea.

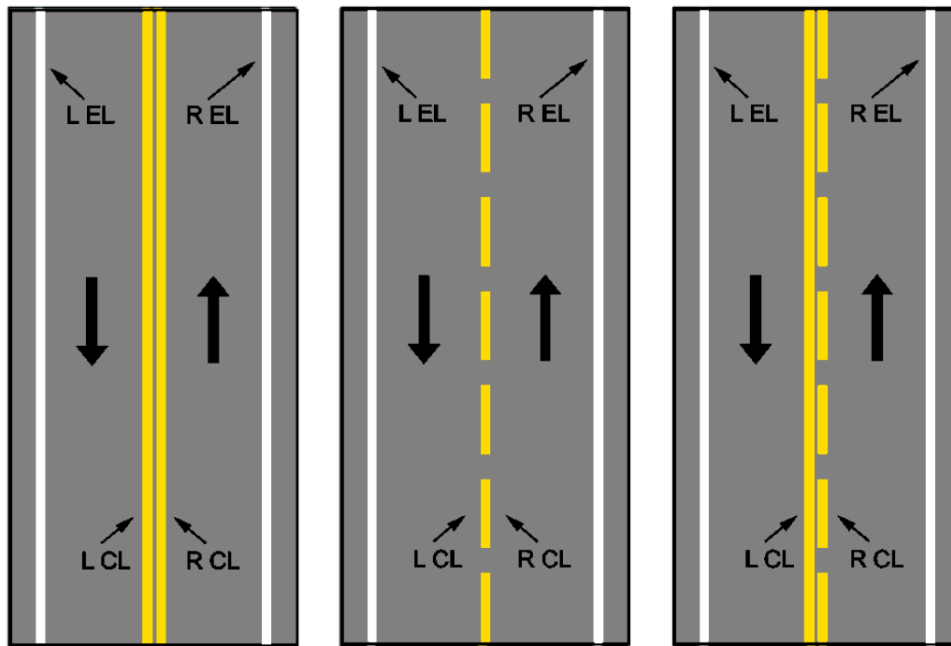
Como ejemplo, basados en la información a continuación, la línea más cercana discontinua hacia el norte a la línea central debe de identificarse como R1 SL; la línea de borde en la misma dirección se identificará como REL. Las figuras de la 4.4 a la 4.7 muestran los ejemplos de la nomenclatura convencional para diferentes escenarios.

Tabla 4.2 Nomenclatura de las líneas de pavimento

	Código	Descripción
Sentido del viaje	L ^a	Señalamiento de kilometraje descendente
	R ^a	Señalamiento de kilometraje ascendente
Tipo de Línea	EL	Línea blanca de borde
	CL	Línea amarilla central. Todas las líneas amarillas incluyendo las líneas amarillas discontinuas son consideradas líneas centrales
	SL	Línea blanca discontinua. Un número se coloca entre el sentido y el tipo de línea para indicar el orden de las líneas discontinuas comenzando con la más cercana a la línea central

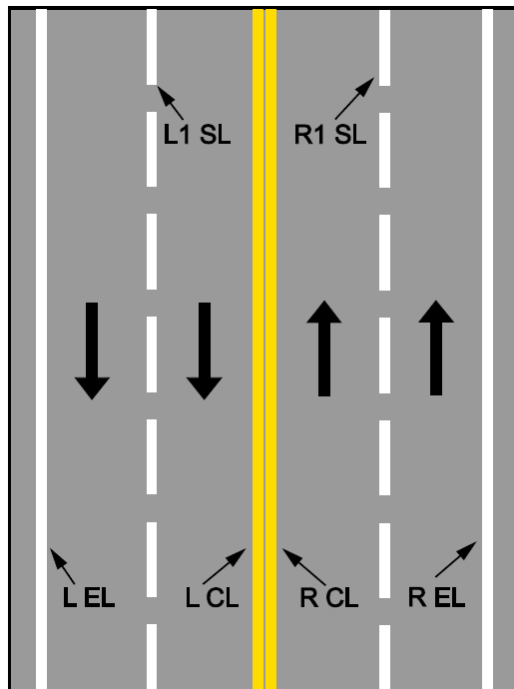
Nota: Los códigos "L" y "R" son solo ejemplos de lo que puede emplear una agencia. La agencia puede usar otros códigos (e.g. N, S, E, y W para indicar la dirección en lugar de los códigos de descendente (L) y ascendente (R)). Además, debe considerarse que los valores de retrorreflexión obtenidos del MRU son promedios de las dos líneas donde se midió. Por lo tanto, debe aclararse que estos códigos de sentido solo indican la dirección del recorrido del MRU, no de la línea individual (línea derecha o izquierda) o la dirección de la aplicación de la línea.

Fuente: modificado de AASHTO TP-111-14



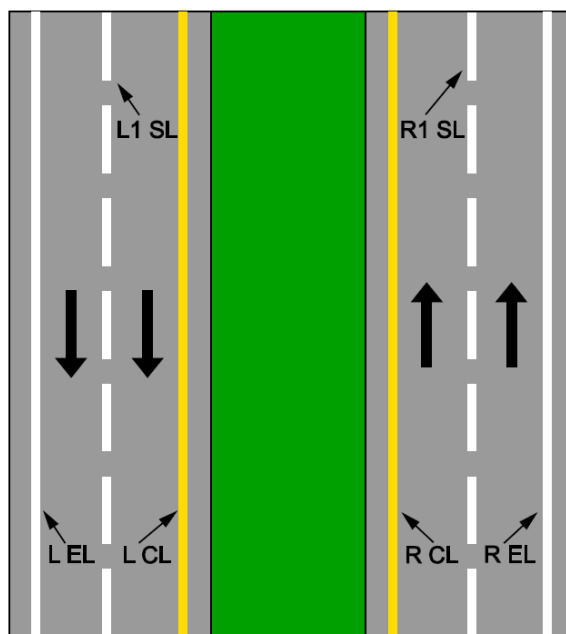
Fuente: modificado de AASHTO TP-111-14

Figura 4.4 Nomenclatura de las líneas de pavimento en una carretera de dos carriles



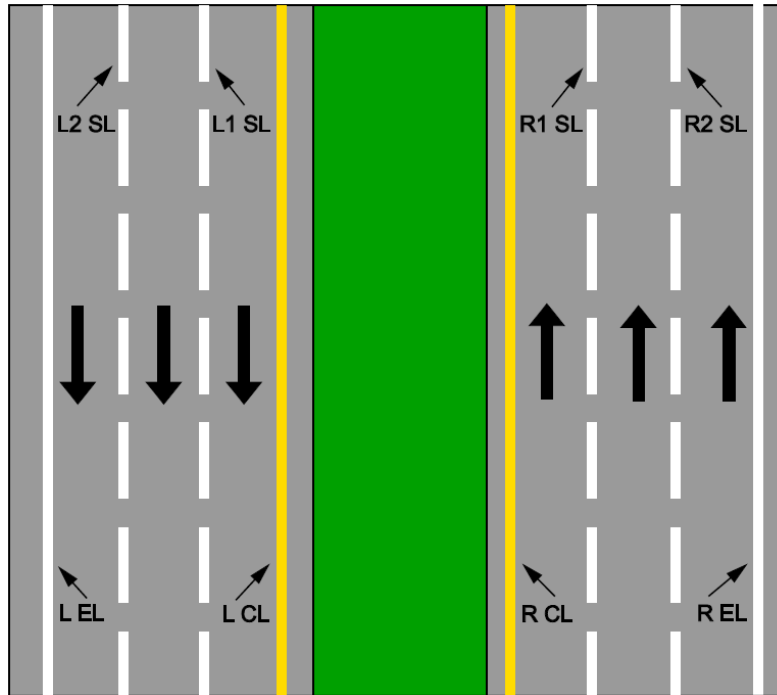
Fuente: modificado de AASHTO TP-111-14

Figura 4.5 Nomenclatura de las líneas de pavimento en una carretera de cuatro carriles de un cuerpo



Fuente: modificado de AASHTO TP-111-14

Figura 4.6 Nomenclatura de las líneas de pavimento en una carretera de cuatro carriles de dos cuerpos



Fuente: modificado de AASHTO TP-111-14

Figura 4.7 Nomenclatura de las líneas de pavimento en una carretera multicarril de dos cuerpos

4.5.2 Calibraciones y estandarizaciones

El DMI de la distancia debe ser calibrado con una tolerancia de error de ± 3.0 pies/milla (57 cm/km) o menor, para la velocidad del vehículo de prueba hasta la velocidad máxima especificada por la prueba empleado. Debe ser calibrado mensualmente o cuando se considere necesario. Adicionalmente, una recalibración debe realizarse cada que se cambien o roten llantas, se mida el aire o existan datos sospechosos.

El sistema del MRU debe ser calibrado y se debe verificar su desempeño de acuerdo a los requerimientos del fabricante y también debe ajustarse a la geometría de 30 m.

La calibración del equipo provista y/o recomendada por el fabricante también se debe emplear en la calibración y se debe de registrar el algoritmo de la calibración. La calibración del equipo MRU debe de ser verificada y estandarizada por el fabricante por lo menos una vez al año.

4.6 Procedimiento

Antes de la medición deben determinarse al menos los siguientes parámetros:

- Localización y límites del proyecto de la sección de carretera a evaluar.
- Calentamiento previo a la medición del sistema del MRU, por el periodo de tiempo recomendado por el fabricante.
- Calibrar el equipo de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
- Operar el MRU a lo largo de la marca de pavimento a ser evaluada con el mínimo movimiento de desviación del vehículo.
- Asegurarse que las localizaciones del inicio y del final del proyecto estén adecuadamente referenciadas de manera que la luminiscencia de la retroreflexión pueda ser reportada correctamente con respecto al señalamiento del kilometraje de la carretera.
- La velocidad del vehículo debe mantenerse constante durante la recolección de los datos sin frenar o acelerar abruptamente.
- Si es necesario detener el vehículo, se recomienda pausar la recolección de los datos mientras el programa aún se esté corriendo, hasta que el MRU se encuentre nuevamente en movimiento y se mantenga una velocidad constante.

4.6.1 Velocidad del equipo respecto al tipo de línea

Para líneas de borde y centrales continuas, el MRU debe operar a 60 mph (96 km/h). Para asegurar una recolección de datos eficiente, es recomendable no exceder las 60 mph (96 km/h) durante la prueba. Deben recolectarse un mínimo de 30 datos puntuales por cada 160 metros para considerar que los datos son confiables.

Para líneas discontinuas, el MRU puede requerir viajar a velocidades menores para obtener un mínimo de 30 datos por cada 160 m. El procesamiento de los datos crudos del MRU será de acuerdo al programa (*software*) proporcionado por el fabricante o proveedor.

4.7 Interferencias e influencias del ambiente

Las mediciones hechas con el MRU son afectadas de manera adversa por la humedad del aire y la humedad en la superficie de las marcas de pavimento. El agua estancada, el rocío, el agua nieve y la nieve en la superficie de las marcas, o niebla y humo en el aire disminuye la cantidad de luminiscencia retroreflejada debido a la luz reflejada por el agua fuera del alcance del detector.

Debido a que los efectos de los factores del medioambiente son difíciles de medir y pueden variar de manera dramática, debe evitarse realizar la prueba si se presentan estas condiciones. Debe realizarse una adecuada limpieza de los láseres y de la ventana del detector óptico antes de cualquier recolección de datos.

Las mediciones realizadas con el MRU también son afectadas de manera adversa por superficies sucias, desperdicios y contaminación sobre las marcas del pavimento, lo que disminuye la cantidad de luminiscencia retrorreflejada. Esto puede ocasionar la variabilidad de la retrorreflexión y debe de ser considerado. El operador debe de percatarse si estas condiciones se presentan.

El MRU utiliza dispositivos electrónicos y ópticos avanzados conocidos por ser sensibles a cambios de temperatura. En consecuencia, es recomendable que la temperatura ambiente se mantenga con una variación de ± 2 °C, o realizar las acciones correctivas establecidas por el fabricante. Es importante estar alerta a estas acciones correctivas en caso de que los dispositivos ópticos o electrónicos no estén trabajando adecuadamente o para lo que fueron diseñados.

Conclusiones

La evaluación de la señalización en carreteras está directamente relacionada con la seguridad que ofrecen las vías; los materiales retrorreflectantes empleados en el marcaje horizontal juegan un papel importante al dar al conductor la pertinente información para la detección de las señales en la conducción.

Los avances tecnológicos, tanto en materiales como equipos para la medición del coeficiente de retrorreflexión irán dotando a las redes carreteras de mayores y más altos niveles de exigencia para la seguridad vial en términos de infraestructura. Por lo que es de especial interés que la medición de este coeficiente sea confiable y preciso para asegurar la funcionalidad de las señales.

La verificación de los equipos reflectómetros permite hacer evaluaciones de manera confiable y rápida para detectar las acciones necesarias en materia de seguridad vial, así como, la atención para la validación de entrega de trabajos ante la Secretaría. Los reflectómetros igual que cualquier equipo que es utilizado para realizar mediciones de magnitudes, deben ser calibrados y verificados en campo para asegurar que las condiciones en las que opera son las adecuadas para realizar dicha evaluación.

Con la elaboración de protocolos de verificación de equipos de alto rendimiento, se satisfacen las necesidades actuales del país y ayuda a trazar la línea base para las exigencias de las carreteras del futuro.

De los registros a entregar, debe contarse con al menos la información del proyecto (ID, conteos, señalamiento de inicio y fin, sentido de la carretera, tipo de línea y otra información relevante); datos como la fecha del sondeo, condiciones superficiales climáticas. Igualmente identificación del MRU o datos que lo hagan identificable, operador y programa usado (*software*).

Y los resultados deben ser reportados en milicandelas por lux por metro cuadrado (mcd/lx/m^2) por cada dirección de tránsito, por cada línea de marcaje, y a cada intervalo de 1.6 m, a menos que se recomiende otra cosa; con un análisis estadístico básico de la retrorreflectividad como promedio, rango y desviación estándar en resumen.

Las determinaciones y la utilización de los datos pueden emplearse para la clasificación funcional de la retroreflexión con el objeto de revisar y clasificar el estado de la red carretera en términos de seguridad. Con los datos reportados, se puede generar una cartografía de la red con base a los rangos determinados por los organismos pertinentes, como la Secretaría u otras dependencias.

Bibliografía

American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO]. (2014). *AASHTO TP 111-14 (2021) Standard Method of Test for Measuring Retroreflectivity of Pavement Marking Materials Using a Mobile Retroreflectivity Unit*. Washington, DC.: Estados Unidos.

American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO]. (2018) *ASTM E1710 – 18. Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using a Portable Retroreflectometer*. Washington, DC.: Estados Unidos.

American Society for Testing and Materials [ASTM]. *ASTM E2176 – 13. Standard Test Method for Measuring the Coefficient of Retroreflected Luminance of Pavement Markings in a Standard Condition of Continuous Wetting (RL-Rain)* (retirada 2013). Conshohocken, PA: Estados Unidos.

American Society for Testing and Materials [ASTM]. *ASTM E2177 – 08. Standard Test Method for Measuring the Coefficient of Retroreflected Luminance (RL) of Pavement Markings using the Bucket Method in a Condition of Wet Recovery*. (retirada 2013). Conshohocken, PA: Estados Unidos.

American Society for Testing and Materials [ASTM]. *ASTM E808 Standard Practice for Describing Retroreflection*. Conshohocken, PA: Estados Unidos.

Austin, R.L., y Schultz, R.J. (2020). *Guide to retroreflection safety principles and retroreflective measurements*. San Diego, CA.: RoadVista ISBN 0-9710215-0-3. Estados Unidos.

Boily, F. M. y Tremblay, M. (2014). *Guía sobre la retrorreflexión del marcaje de caminos. Principios de evaluación*. Quebec: ISBN: 978-2-550-69744-2. Canadá.

Department of Transportation [DOT]. (2013). *Operations manual for mobile retroreflectivity units*. Florida. Estados Unidos.
<https://www.fdot.gov/docs/default->

[source/materials/pavement/performance/ndt/documents/operation
smanual.pdf](https://www.ecophon.com/es/about-ecophon/functional-demands/visual-appearance/gloss--light-scattering/smanual.pdf)

Ecophon (2022) Brillo y Difusión de la luz. [Sitio web Saint-Gobain Ecophon] <https://www.ecophon.com/es/about-ecophon/functional-demands/visual-appearance/gloss--light-scattering/>

European Standard [EN]. (2018) *EN 1436 Road Marking Materials—Road Marking Performance for Road Users and test methods*. Comité Europeo de Normalización: Ref. No. EN 1436:2018 E. Bruselas.

García, C. (2015) Coeficiente de retroreflexión en marcaje de pavimentos. [Sitio web Revista México Social, S.A. de C.V.] www.mexicosocial.org/coeficiente-de-retroreflexion-en-marcaje-de-pavimentos/

Justo-Sierra, F. (2011). Ingeniería de seguridad vial: relación entre los caminos y la gente que muere en y por ellos. Documento No. 3, Instituto del Transporte, Academia Nacional de Ingeniería, Buenos Aires, Argentina.

Koleske, J.V. (2011). Manual de prueba de pintura y revestimiento. Parte 10. Estados Unidos. ASTM. ISBN 978-0-8031-7017-9.

Latitud 19 (2019). Importancia de la Retroreflexión en la señalización vial. [Sitio Web de Latitud 19 Topografía y Proyectos S.A. de C.V. MMefectiva] <https://latitud-19.com/senalizacion-vial/>

Meeten, G.H. (1986). Optical properties of polymers. *Polimer International*, 20(4), 326–329: ISBN 0- 85334-434-5.

Saunier, N., M. Brosseau y A. Carrasquilla (2012). Revisión de la literatura reciente y censo con las administraciones vecinas sobre la existencia de un problema de retroreflexión y sobre los medios puestos en marcha para asegurar la retroreflexión durante un periodo mayor a un año. Proyecto R687.1. Quebec: Canadá.

Secretaría de Comunicaciones y Transporte [SCT]. (2013). N-CMT-5-01-001/13. Libro CMT. Características de los materiales. Parte 5. Materiales para señalamiento y dispositivos de seguridad. 01 Pinturas. 001 Pinturas para señalamiento horizontal. <https://normas.imt.mx/normativa/n-cmt-5-01-001-13.pdf>

Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes [SICT]. (2022) PROY-NOM-034-SCT2/SEDATU-2021. Proyecto de Norma Oficial Mexicana Señalización y dispositivos viales para calles y carreteras. México. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5640134&fecha=04/01/2022#gsc.tab=0

Segurolux [Sitio Web de Segurolux S.A.C./ 3C Señales y Reflectivos] <https://www.segurolux.com/tecnologia.html>

Solórzano. S. (2019) Retrorreflectividad: Unidad de Medición y desempeño para la demarcación vial. [Sitio web blog del Laboratorio Nacional adscrito a la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica] <https://bloglanammeucr.wordpress.com/tag/retroreflectividad/>



COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Km 12+000 Carretera Estatal 431 "El Colorado-Galindo"
San Fandila, Pedro Escobedo
C.P. 76703
Querétaro, México
Tel: +52 442 216 97 77 ext. 2610

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>