



Índice

Definición del problema	;
El costo de la complacencia	į
El impacto en la seguridad de las señalizaciones retrorreflectantes en húmedo	(
La ciencia de la óptica	-
Métodos de prueba de las señalizaciones retrorreflectantes en húmedo	10
Especificaciones de rendimiento	1
Conclusión	12
Fuentes y lecturas recomendadas	13

Por qué son importantes las señalizaciones en el pavimento retrorreflectantes en húmedo.

La diferencia entre las señalizaciones en el pavimento retrorreflectantes en húmedo y retrorreflectantes que no se ven en condiciones húmedas.

Es fácil ver señalizaciones en el pavimento en un día brillante y soleado. Incluso las señalizaciones más vieias y desgastadas pueden proporcionar a los conductores suficiente orientación en circunstancias ideales. ¿Pero qué sucede por la noche? ¿Durante una tormenta cuando el agua cubre las carreteras? En este tipo de condiciones, las señalizaciones en el pavimento retrorreflectantes que no se ven en condiciones húmedas desaparecen, lo que reduce la visibilidad del conductor y aumenta su incomodidad3, los sistemas de orientación de carril de vehículos conectados y automatizados (CAV, por sus siglas en inglés) son menos efectivos^{4,5} y existe un mayor riesgo de accidentes⁸. Por este motivo, el tipo de señalizaciones que elija es fundamental para ayudar a mantener a los conductores seguros en los días soleados y en las noches oscuras y tormentosas, especialmente cuando se tiene en cuenta el cambio en los datos demográficos del conductor, como un mayor número de conductores de edad avanzada con limitaciones de visión.

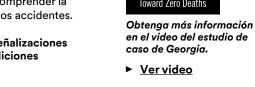
Recientemente, desde el 2014 al 2016, el Departamento de Transporte de Georgia observó una tendencia sorprendente.

"Vimos un aumento en el número de muertes en todo el estado de Georgia. Cuando evaluamos los datos, vimos que una gran cantidad de esas muertes ocurrían en condiciones húmedas y nocturnas en todo el estado, por lo que sabíamos que

necesitábamos colocar productos en las carreteras que influyeran de forma directa en esa tendencia para finalmente intentar disminuir esos números", dijo Andrew Heath, ingeniero de tránsito del Departamento de Transporte (DOT) del estado de Georgia.

Con muchas autoridades viales que hoy adoptan un enfoque hacia la seguridad vial con cero muertes, es de suma importancia comprender la correlación entre la oscuridad, las condiciones húmedas y los accidentes.

Por la noche, en condiciones de lluvia, desaparecen las señalizaciones en el pavimento retrorreflectantes que no se ven en condiciones húmedas, lo que genera lo siguiente:



caso de Georgia.

▶ Ver video



Reducción de la visibilidad del conductor3



Aumento de la incomodidad del conductor3



Sistemas de orientación de carril de vehículos conectados y automatizados (CAV) menos efectivos4,5



Aumento del riesgo de accidentes8

"... una gran cantidad de esas muertes ocurrían en condiciones húmedas y nocturnas..."

Andrew Heath, ingeniero de tránsito del Departamento de Transporte (DOT) del estado de Georaia





La diferencia es el día y la noche, y la noche lluviosa.

Podemos hacerle conocer la gran diferencia que hacen las señalizaciones en el pavimento que elige cuando oscurece y llueve, pero puede ser más impactante si se la mostramos.

Lo que ven los conductores:



Condiciones secas durante el día

Tanto el símbolo blanco retrorreflectante y la línea central que no se ven en condiciones húmedas como la línea de borde amarillo retrorreflectante en húmedo son visibles.



Condiciones secas durante la noche

Ambos tipos de señalizaciones son visibles en condiciones nocturnas secas.



Mientras que el símbolo reflectante y la línea central que no se ven en condiciones húmedas parecen desaparecer, la señalización retrorreflectante en húmedo permanece visible.

Como puede ver, partes de las señalizaciones en el pavimento retrorreflectantes que no se ven en condiciones húmedas prácticamente desaparecen en la oscuridad cuando llueve, lo que hace que el conductor no se dé cuenta de que el próximo carril es uno de giro a la izquierda.

Con poblaciones diversas y de edades avanzadas, los vehículos automatizados y con asistencia al conductor y nuevos conductores inexpertos que convergen en las carreteras, tener señalizaciones en el pavimento que sean visibles tanto para las personas como para las cámaras de automóviles en una amplia gama de condiciones es más importante que nunca.

¿En qué sector de la carretera preferiría conducir?

Vea la diferencia que hacen las señalizaciones en el pavimento retrorreflectantes en húmedo.

► Ver video

Las estadísticas lo dicen todo.

Hay mucho en juego: conozca los números.

En 2017, 6952 personas murieron en accidentes en las carreteras de EE. UU. en condiciones de Iluvia. A pesar de que solo el 25 % de los viajes ocurren de noche, un asombroso 55 % (o 3811) de esas muertes ocurrieron de noche o en condiciones de poca luz.6

Las condiciones de lluvia y luz son un factor de agregación excesiva para los riesgos de accidentes. Un estudio de 2015 realizado en Texas investigó la variabilidad temporal y espacial del riesgo relativo de accidentes debido a las condiciones de lluvia en todo el estado. Los investigadores descubrieron que la lluvia aumentó el riesgo de accidentes en todo el estado en aproximadamente un 57 %, y las condiciones nocturnas la incrementaron hasta un 80 %.2



.25 millones

de vidas perdidas a nivel mundial por año se deben a accidentes de tránsito

Fuente: OMS (WHO) Lesiones de tránsito, enero de 2018.



of de accidentes fatales

sucede por la noche, a pesar de que la mayoría del tránsito está en la carretera durante el día.

Fuente: Forbes. Los momentos más peligrosos para conducir, enero de 2009.



Estudios franceses sobre accidentes

En Francia, se llevaron a cabo estudios similares de datos de accidentes en los últimos 12 años. Adaptado para la densidad de tránsito promedio en Francia (el 90 % del tránsito circula durante el día), el análisis estadístico demostró que conducir de noche aumentó 3,5 veces el riesgo de un accidente con lesiones y 6 veces el riesgo de un accidente mortal (en comparación con la conducción durante el día). Por la noche y con lluvia, esos números suben a 7,7 veces y 10 veces respectivamente.7

Se ha demostrado que aumentar la visibilidad de las señalizaciones en el pavimento, especialmente en condiciones oscuras o lluviosas y húmedas, reduce los accidentes.8 Y las estadísticas muestran que los conductores tienen muchas más probabilidades de verse involucrados en un accidente nocturno o de conducir en carreteras mojadas y lluviosas. Mejorar las carreteras para ayudar a los conductores a manejar mejor estas condiciones puede generar la reducción de accidentes, lesiones, muertes y costos.



Conducir de noche con lluvia ligera o fuerte aumenta el riesgo de accidentes relacionados con lesiones

7,7 veces

y el riesgo de accidentes

en comparación con la

conducción durante el día

Fuente: BAAC (base de datos francesa de tránsito en carretera, datos abiertos del gobierno).

La investigación de terceros sugiere que las señalizaciones retrorreflectantes en húmedo reducirán los accidentes.

En la actualidad, los conductores humanos confían en señalizaciones efectivas en el pavimento y continuarán haciéndolo en el futuro.

Más de la mitad de todos los automóviles vendidos en los EE. UU. en los últimos años contaban con tecnologías automatizadas como sistemas de advertencia de cambio de carril, pero a los vehículos aún los maneian en gran medida conductores humanos. Cualquier solución de señalizaciones en el pavimento debe seguir siendo visible en todas las condiciones climáticas para ayudar a mantenerlos seguros, al igual que a otros conductores en las carreteras.

En 2015, la Autoridad Federal de Carreteras de EE. UU. llevó a cabo una evaluación rigurosa antes y después de las señalizaciones retrorreflectantes en húmedo utilizadas en Minnesota, Carolina del Norte y Wisconsin para desarrollar los factores de modificación de accidentes (CMF, por sus siglas en inglés) recomendados. El CMF recomendado para accidentes con lesiones en carreteras de varios carriles es de 0,595 y en autopistas es de 0,881, lo que sugiere una reducción de un 40 % y un 12 % respectivamente en este tipo de accidentes después de implementar señalizaciones en el pavimento retrorreflectantes en húmedo.8

Del mismo modo, un estudio de 2018-2019 realizado por el Instituto de Transporte A&M de Texas evaluó la efectividad de las señalizaciones en el pavimento para condiciones climáticas húmedas en el Distrito

Evaluación de seguridad de señalizaciones en el pavimento para condiciones climáticas húmedas

Factores de modificación de accidentes recomendados por la FHWA (Autoridad Federal de Carreteras):

Accidentes con lesiones

Carreteras de varios

Autopistas

de Atlanta del Departamento de Transporte (DOT) de Texas. Observaron específicamente los accidentes lluviosos y nocturnos en aproximadamente 630 millas de carretera donde se instalaron señalizaciones en el pavimento para condiciones climáticas húmedas. El estudio descubrió que la implementación de señalizaciones en el pavimento para condiciones climáticas húmedas en esas carreteras redujo los accidentes y las muertes nocturnos cuando existían esas condiciones en aproximadamente un 30 % y un 50 %, respectivamente.9

Finalmente, según un estudio patrocinado por la UE, Rainvision: el impacto de las señalizaciones en el pavimento en el comportamiento del conductor, la aplicación de material de señalización en el pavimento retrorreflectante en la carretera tuvo un efecto positivo en la sensación subjetiva de seguridad y comodidad para los conductores, especialmente en condiciones climáticas adversas. En condiciones de conducción nocturna y con lluvia, las señalizaciones retrorreflectantes garantizaron travectorias claras de la ruta de conducción, y proporcionaron estímulos anticipados del entorno de la carretera y quitaron una carga de trabajo considerable al conductor. Por el contrario, los errores cometidos por los conductores aumentaron en un 70 % cuando las señalizaciones en el pavimento eran menos visibles.³

Tabla A: Efectos de seguridad de las señalizaciones en el pavimento para condiciones climáticas húmedas

Estimaciones porcentuales de reducción de accidentes para señalizaciones en el pavimento para condiciones climáticas húmedas

Enfoque	Húmedo - Noche*	Húmedo - Muertes nocturnas*
Empírico de Bayes (EB)	28 %	53 %
Completo de Bayes (FB)	32 %	49 %

^{*}Resultados de importancia estadística con un 95 % de confianza



Orientación a la seguridad para vehículos conectados y automatizados.

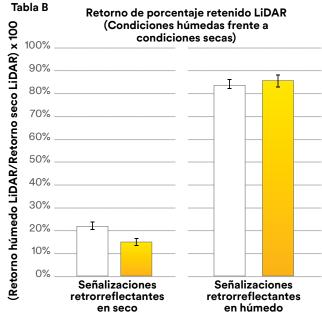
Al igual que con los conductores humanos, las señalizaciones en el pavimento retrorreflectantes en húmedo también pueden permitir una visión artificial más sólida.

Ya sea que se trate de sistemas de cámaras ópticas en automóviles en la carretera hoy o de LiDAR en los automóviles del mañana, estudios recientes han indicado que las señalizaciones retrorreflectantes en húmedo también mejoran la visibilidad de los Sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS, por sus siglas en inglés) y los vehículos conectados y automatizados (CAV).

En el estudio, "Effects of Wet Retroreflectivity and Luminance of Pavement Markings on Lane Departure Warning in Nighttime continuous Rain with and without Glare Sources", publicado en la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), los investigadores de 3M exploraron los efectos de la retrorreflectividad en húmedo y la luminancia de las señalizaciones blancas y amarillas sobre el rendimiento de la detección de un sistema Mobileye LDW en condiciones de lluvia continua durante la noche.5

Descubrieron que el porcentaje de detección a ciertos niveles de confianza se correlacionaba con una interacción de dos factores de la propiedad de luminancia difusa y la retrorreflectividad continua en húmedo. Los investigadores proponen la posibilidad de que el porcentaje de detección a ciertos niveles de confianza se correlacione con una interacción de dos factores de la propiedad de luminancia difusa y la retrorreflectividad continua en húmedo.

Otro estudio analizó específicamente los efectos de rendimiento de las señalizaciones retrorreflectantes en húmedo para la detección de características de visión artificial, detección de luz y sistemas LiDAR en condiciones de carretera continuamente húmedas. La Tabla B muestra el porcentaje de retorno LiDAR en condiciones de lluvia durante la noche tanto de las señalizaciones retrorreflectantes en seco como de las señalizaciones retrorreflectantes en húmedo. Los resultados preliminares de este estudio de detección sugirieron que las señalizaciones en el pavimento retrorreflectantes en húmedo probablemente sean ventajosas tanto para los sistemas de visión artificial como para la tecnología LiDAR.4





"En condiciones de lluvia durante la noche, la óptica retrorreflectante en húmedo permite la detección a distancias más largas que las microesferas de vidrio en las señalizaciones amarillas".*

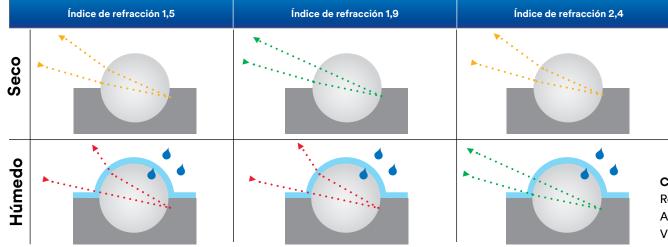
*Según pruebas realizadas conjuntamente con Continental Automotive Systems Inc. en diciembre de 2017 en Brimley, Michigan, EE. UU. Los materiales probados incluyeron líneas amarillas de LPM en zonas de conducción convencionales y Iluvia nocturna con vidrio o elementos de 3M.

No todas las ópticas son iguales.

La ciencia debajo de la superficie de diferentes tipos de señalizaciones en el pavimento retrorreflectantes continuas en húmedo.

En general, las señalizaciones en el pavimento son visibles por la noche debido a la óptica retrorreflectante en la señalización que devuelve la luz de los faros de un vehículo a su conductor. Sin embargo, es mejor contar con distintas ópticas para devolver la luz en diferentes condiciones: no es posible optimizar una sola microesfera para condiciones tanto secas como húmedas.







► Mire el video

Las señalizaciones con microesferas de índice 2,4 se pueden ver en condiciones húmedas donde las señalizaciones con otras microesferas pueden no ser visibles. Esto también es así para los sistemas de visión artificial basados en cámaras ópticas. Mire el video para obtener más información sobre las diferencias en las señalizaciones en el pavimento.

Clave de índice de refracción:

Rojo: retorno de luz menos óptimo Amarillo: retorno de luz subóptimo Verde: retorno de luz óptimo

Cómo probar los elementos antes de instalarlos.

La prueba de Brillo de la copa proporciona una indicación de los coeficientes de luminancia retrorreflectada previstos.

El mejor momento para tener una idea de qué tipo de rendimiento retrorreflectante en húmedo puede esperar de una combinación de elementos de microesferas u ópticas es mucho antes de instalarlos en sus carreteras. Por ese motivo, se recomienda usar la prueba de Brillo de la copa antes de la especificación, especialmente en elementos húmedos para simular condiciones húmedas continuas.

Si bien la prueba continua en húmedo según ASTM (ver página siguiente) es la metodología recomendada para la retrorreflectividad en húmedo,

puede ser difícil realizar lecturas en cada franja de la carretera. La especificación de la prueba de Brillo de la copa, además de la prueba continua en húmedo, garantiza que sus carreteras cumplan con el nivel de luminancia deseado. La prueba de Brillo de la copa se puede realizar antes de instalar el producto y se puede hacer con materiales limitados en un entorno de laboratorio.

Vea la pág. 2 del Boletín del producto Elementos Connected Roads All Weather de 3M[™] para obtener más información sobre este método.

► Descargue el PDF



Cuando se trata de metodologías de prueba, la recuperación en húmedo no es lo mismo que continua en húmedo.

Las pruebas en paralelo muestran que existe una gran diferencia en condiciones de lluvia y húmedas.

La mayoría de los conductores han tenido una terrible experiencia al conducir en una carretera oscura y desconocida durante un aguacero. Es posible que haya pensado que las señalizaciones en el pavimento estaban viejas y descoloridas y solo debían reemplazarse. Sin embargo, la verdad es que si no se hubieran probado y diseñado para funcionar bajo condiciones húmedas continuas, no hubieran hecho una gran diferencia más allá de lo viejas o nuevas que fueran: las señalizaciones de recuperación en húmedo no están diseñadas para funcionar como lo hacen las señalizaciones continuas en húmedo.

A escala mundial, existen dos tipos de métodos de prueba utilizados para medir la reflectividad en húmedo de las señalizaciones en el pavimento: Métodos de humedecimiento continuo, que simulan la reflectividad en húmedo de una señalización en el pavimento durante la lluvia, y métodos de recuperación en húmedo, que simulan la reflectividad en húmedo de una señalización en el pavimento una vez que deja de llover y que la señalización se va recuperando o drenando (consulte la Tabla A a continuación para ver un resumen de las metodologías de prueba de retrorreflectividad en húmedo disponibles).

Tabla A

Tipo	Humedecimiento continuo	Recuperación en húmedo
ASTM	E2832	E2177
EN	EN1436 Anexo B7	EN1436 Anexo B6

¿Qué tipo de método de prueba es más realista?

En general, los métodos húmedos continuos proporcionan un resultado más comparable a la experiencia real del conductor en eventos de lluvia moderada que los métodos de recuperación en húmedo. Esto se debe a que los métodos húmedos continuos simulan el nivel de retrorreflectividad en húmedo que experimenta un conductor en un evento de lluvia, mientras que los métodos de recuperación en húmedo solo lo simulan en un instante después de que haya dejado de llover.

Recuperación en húmedo frente a señalizaciones continuas en condiciones secas



Recuperación en húmedo frente a señalizaciones continuas en condiciones Iluviosas



► Lea más sobre los métodos de prueba.

Qué tener en cuenta al elaborar una especificación.

En esto deben pensar los ingenieros de tránsito al crear un estándar o una especificación de señalización en el pavimento.

Los ingenieros de tránsito a menudo preguntan cuál es el valor recomendado de la retrorreflectividad continua en húmedo en servicio para incluir en una especificación o un estándar de señalización en el pavimento. Datos preliminares de un próximo estudio de investigación del Instituto de Transporte de Texas (TTI) compartido en un Taller regional de capacitación y educación de ATSSA llevado a cabo recientemente ayudan a responder esta pregunta. En coordinación con el Departamento de Transporte de Minnesota, el TTI realizó un estudio de factores humanos para determinar la distancia de detección de las señalizaciones en el pavimento en función de diferentes valores retrorreflectantes en húmedo. Los resultados preliminares analizados durante un taller regional de ATSSA indican que 50 mcd/m²/lux en húmedo continuo es un umbral de reemplazo adecuado para las señalizaciones en el pavimento en servicio, pero es un valor mínimo y está lejos de ser óptimo.

¿Por qué el umbral de 50 mcd/m²/lux está lejos de ser óptimo?

El umbral de 50 mcd/m²/lux proporciona 1,9 segundos de tiempo de vista previa para los conductores a 55 millas por hora. Estudios de simuladores de conducción informados en COST 331, un estudio de la UE¹¹ encargado de recomendar un diseño óptimo de señalizaciones en el pavimento, demostró que el tiempo de vista previa mínimo absoluto para una conducción segura es de 1,8 segundos; de lo contrario, los conductores tendrán problemas para mantenerse estables en un carril. Los autores enfatizaron que este era el valor mínimo y que se debería usar uno más alto. El informe COST 331 estableció un tiempo de vista previa recomendado de 2,2 segundos.

La FHWA de EE. UU. realizó un estudio similar¹² en 1998, que determinó las condiciones de conducción extremas de corto alcance; se recomendaron dos segundos de tiempo de vista previa como el límite mínimo seguro aceptable, lo que permite suficiente tiempo para que el conductor perciba y reaccione a la señalización en el pavimento en condiciones peligrosas.

Los niveles más altos de retrorreflectividad continua en húmedo son mejores.

La Tabla A muestra los mínimos de retrorreflectividad continua en húmedo recomendados calculados a partir de los resultados preliminares del próximo estudio del TTI a diferentes tiempos y velocidades de vista previa.¹⁰ Se necesitan valores más altos de retrorreflectividad continua en húmedo para diferentes velocidades o tiempos de vista previa. Si bien puede ser extraño que los conductores viajen a 70 mph con tormentas de noche, esta investigación es importante para documentar la relación entre valores continuos en húmedo más altos y tiempos de vista previa más largos.

Tabla A: Mínimos de retrorreflectividad continua en húmedo derivados matemáticamente de los resultados preliminares del próximo estudio del TTI

	Tiempo de vista previa de 1,8 segundos	Tiempo de vista previa de 2,2 segundos
55 mph	50 mcd/m²/lux	130 mcd/m²/lux
70 mph	170 mcd/m²/lux	970 mcd/m²/lux

Figura 1: ¿Qué es el "Tiempo de vista previa"?

Situación en un momento determinado



Tiempo que toma recorrer la distancia de visibilidad = tiempo de vista previa



3M es una marca comercial de 3M.

© 3M 2019. Todos los derechos reservados.

El resultado final: Hay mucho en juego.

La visibilidad de las señalizaciones en el pavimento es crítica de día o de noche, llueva o haya sol.

La aplicación de señalizaciones en el pavimento puede ser una de las últimas cosas que haga al finalizar su proyecto de carretera, pero es un primer paso para ayudar a mejorar la seguridad, reducir los accidentes y salvar vidas. Tener la carretera más hermosa del mundo no significa mucho si es difícil circular en condiciones oscuras y lluviosas.

Como ha leído, conducir de noche o en condiciones de lluvia aumenta los accidentes, las lesiones y las muertes, una preocupación que puede aumentar a medida que cada vez más vehículos confían en la tecnología de visión artificial. También ha visto la diferencia entre las señalizaciones en el pavimento continuas en húmedo y retrorreflectantes en húmedo y ha aprendido sobre la ciencia que la sustenta.

Siempre habrá cosas que no puede controlar, pero puede controlar qué tipo de señalizaciones en el pavimento aplica, y solo las señalizaciones retrorreflectantes continuas en húmedo están diseñadas para proporcionar brillo reflectante en las circunstancias más cruciales.

Comuniquese con su representante local de 3M para obtener más información sobre las señalizaciones en el pavimento retrorreflectantes en húmedo y para comenzar una demostración en la carretera.

3M.com/PavementMarkings



División de Seguridad del Transporte 3M Center, Building 225-4N-14 St. Paul. MN 55144-1000 1.800.553.1380



Fuentes y lecturas recomendadas

Para obtener más información sobre la importancia de las señalizaciones en el pavimento retrorreflectantes en húmedo en todo el mundo, recomendamos leer los siguientes estudios y documentos a los que se hace referencia en este libro electrónico.

- 1. Administración Nacional de Seguridad del Tránsito en las Carreteras, Departamento de Transporte (DOT) de EE. UU. Passenger Vehicle Occupant Fatalities by Day and Night - A Contrast. mayo de 2007 https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/810637
- 2. Omranian, S., Sharif, H., Dessouky, S., Weissmann, J., "Exploring rainfall impacts on the crash risk on Texas roadways: A crash-based matched-pairs analysis approach." Accident Analysis and Prevention, vol. 117, 2018, pp. 10-20
- 3. Konstandinos Diamandouros y Michael Gatscha. "Rainvision: The impact of road markings on driver behavior wet night visibility". 6th Transport Research Arena, 18-21 de abril, 2016. Federación Europea de Carreteras
- 4. Pike, A., Clear, S., Hedblom, T. y Whitney, J. "How Might Wet Retroreflective Pavement Markings Enable More Robust Machine Vision?" Registro de Investigación de Transporte 1-6, 2019
- 5. Pike, A., Clear, S., Barrette, T., Hedblom, T. y otros, "Effects of the Wet Retroreflectivity and Luminance of Pavement Markings on Lane Departure Warning in Nighttime Continuous Rain with and without Glare Sources," Documento técnico de SAE 2019-01-1014, 2019
- 6. Administración Nacional de Seguridad del Tránsito en las Carreteras, Departamento de Transporte (DOT) de EE. UU., Sistema de Informes de Análisis de Muertes (FARS, por sus siglas en inglés). 2017 - Disponible en: https://www.nhtsa.gov/ research-data/fatality-analysis-reporting-system-fars

- 7. 3M France, Combating Poor Road Safety To Enhance the Safety of Road Users at Night and in All Weather Conditions. agosto de 2019. Datos recopilados de BAAC (Base de datos de lesiones de tránsito en carretera)
- 8. Administración Federal de Carreteras del Departamento de Transporte (DOT) de EE. UU. Safety Evaluation of Wet-Reflective Pavement Markings. diciembre de 2015, FHWA-HRT-15-083
- 9. Park, ES., Carlson, P., Pike, A., "Safety Effects of Wet-Weather Pavement Markings." Reunión Anual de la Junta de Investigación de Transporte 2019: Disponible en: https://trid.trb.org/view/1572259
- 10. Peterson, E., "Wet Pavement Where are the Markings?!?" Northland American Traffic Safety Services Association, Taller de capacitación y educación "Cómo hacerlo", marzo de 2019
- 11. Requirements for Horizontal road Marking. COST 331. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, 1999.
- 12. Freedman, M., L.K. Staplin, D.P. Gilfillan y A.M. Brynes. Requisitos de visibilidad para la delineación en carreteras no iluminadas. Informe N.º FHWA-RD-88-028, FHWA, Departamento de Transporte (DOT) de EE. UU., 1998