



DESEMPEÑO DE LA DEMARCACIÓN VIAL HORIZONTAL EN COSTA RICA A TRAVÉS DEL PARÁMETRO DE RETRORREFLEXIÓN

Ing. Javier Zamora Rojas, MScE
Unidad de Seguridad Vial y Transporte - PITRA
Correo electrónico: javier.zamorarojas@ucr.ac.cr

Palabras clave: demarcación, seguridad vial, retrorreflexión, desempeño.

Introducción

El tema de la demarcación de carreteras en Costa Rica ha sido altamente discutido a través de los medios de comunicación, que han suscitado muchos cuestionamientos con respecto a la durabilidad de los materiales y su desempeño. El principal argumento evidenciado por los conductores y los medios es que la demarcación no dura lo que se espera. Actualmente, contamos con una red vial heterogénea en cuanto a demarcación vial se refiere; es decir, vías con muy buena demarcación, otras con demarcación deficiente con un alto desgaste, y vías carentes de demarcación por completo.

En demarcación vial horizontal, varias tecnologías son utilizadas actualmente, desde la tradicional pintura base solvente (alquídica), hasta materiales más recientes en nuestro país, como lo es el material termoplástico, el cual es considerado de alta durabilidad. La experiencia en Costa Rica en este tema ha sido mayormente empírica, por lo que poco se conoce sobre el desempeño de diferentes tipos de materiales bajo diferentes condiciones de clima, de tránsito, estado de la superficie, entre otros factores.

Este boletín presenta un resumen de los principales resultados del proyecto "Evaluación del desempeño de sistemas de demarcación vial horizontal en Costa Rica a través del parámetro de retrorreflexión", el cual es la primera fase de un proyecto de mayor alcance que pretende conocer mejor el desempeño y durabilidad de la demarcación vial en el país, y el comportamiento de los materiales.

En esta primera etapa del proyecto se comenzó con dos rutas nacionales y una ruta de travesía, demarcadas con pintura base agua, pintura base solvente y material termoplástico, en color blanco y amarillo. Las mediciones se tomaron con un retrorreflectómetro manual, y se llevaron a cabo comparaciones entre materiales, colores y curvas de degradación.

1. Normativa nacional

A partir del año 2011, se conformó el Comité CTN-11 de INTECO para la normalización de los ensayos de calidad de las pinturas de tránsito (base agua, base solvente y termoplástica), así como de las microesferas de vidrio. Este comité de INTECO está integrado por miembros de diferentes sectores, incluyendo la Administración (CONAVI e Ingeniería de Tránsito), el LanammeUCR, los fabricantes de pinturas, y las empresas que se dedican a la demarcación vial. En el año 2012, se dieron por aprobadas cuatro nuevas normas: 1. INTE 11-02-01 2012 (Pintura de tránsito base agua), 2. INTE 11-02-01 2012 (Pintura de tránsito base solvente), 3. INTE 11-02-01 2012 (Material termoplástico) y 4. INTE 11-02-01 2012 (Microesferas de vidrio). Adicionalmente, en el año 2013 se aprobó la norma INTE 11-02-01 2013, Guía de buenas prácticas para la demarcación vial horizontal. Los resultados de esta investigación servirán de apoyo al trabajo del comité, con el fin de actualizar las normas con nuevos conocimientos y criterios técnicos.

2. Sistema de demarcación vial

A la demarcación vial le llamamos sistema ya que está conformado por varios componentes con funciones específicas. Un sistema simple de demarcación vial consiste de un material

de base, el cual puede ser pintura (base solvente o base agua), termoplástico, cintas preformadas, plástico en frío, entre otros tipos, junto a las microesferas de vidrio, las cuales proveen al sistema de visibilidad nocturna. El material de base por sí solo no es retrorreflexivo, excepto aquellos que ya traen incorporadas las microesferas de vidrio, tal como el material termoplástico o la cinta preformada. Por otra parte, las microesferas de vidrio requieren de un medio para adherirse y poder reflejar la luz que incide en ellas hacia la dirección deseada (hacia el ojo del conductor).

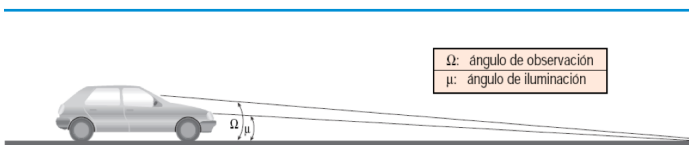
De forma complementaria se encuentran los captaluces, u ojos de gato, los cuales son de gran importancia en Costa Rica dadas las condiciones climáticas y topográficas. Bajo fuertes lluvias, el agua se acumula sobre la superficie de rodamiento y, en muchos casos, cubre la demarcación vial, reduciendo o eliminando del todo el efecto de retrorreflexión de la demarcación. En estos casos los captaluces son esenciales para guiar al conductor, principalmente en carreteras con fuertes pendientes y curvas horizontales.

3. Retrorreflexión: parámetro de desempeño

La medida de desempeño más adecuada de un sistema de demarcación vial es la retrorreflexión o retrorreflexividad, la cual es una medición de la cantidad de luz que es reflejada hacia los ojos del conductor en el momento en que las marcas viales son iluminadas por las luces del vehículo.

Para medir la retrorreflexión existen distintos equipos que simulan las condiciones a las que un conductor visualiza la demarcación vial en la noche. 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 (ver Figura 1). Con base en los ángulos de iluminación y observación, se establecen valores mínimos de retrorreflexión que debe cumplir la demarcación vial horizontal, para ser visible en la noche.

Figura 1. Ángulos de iluminación y observación. Fuente: MTT, 2001.



4. Experiencia internacional

La demarcación vial horizontal es un elemento indispensable en cuanto al nivel de seguridad vial que ofrece una carretera, especialmente durante la noche. Dicho nivel de visibilidad es medido a través de la retrorreflexividad ofrecida por el sistema de demarcación vial que se utilice. A la fecha, no ha habido un conceso a nivel internacional sobre los niveles adecuados de retrorreflexividad que debe tener la demarcación; sin embargo, muchos países y ministerios de transportes han desarrollado especificaciones para su red vial.

En diversos países se han llevado a cabo estudios para analizar la influencia de diferentes condiciones que afectan la demarcación vial; sin embargo, los resultados reflejan una alta variabilidad, sobre todo en cuando a niveles de retrorreflexión y su relación con ciertos factores. Algunas experiencias se resumen a continuación:

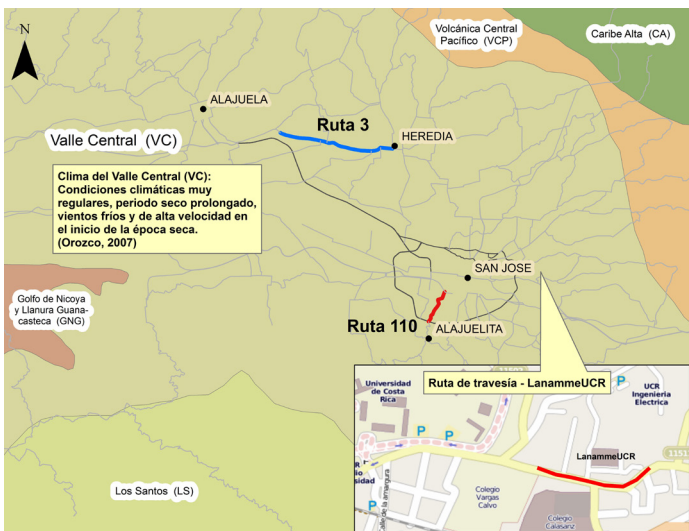
- Thamizharasan et al. (2002) describieron una metodología para estimar la vida útil de la demarcación vial con base en niveles de retrorreflexión, con datos de más de 150 sitios. Se encontró que los factores más importantes que afectan el desempeño de la demarcación vial son: tipo de superficie, material de demarcación, color y el mantenimiento de la demarcación; mientras que el volumen vehicular no mostró ser una variable significativa para el deterioro.
- Rasdorf et al. (2009) encontraron que las líneas de centro se desgastan más rápidamente que las líneas de borde (con material termoplástico), y que la dosificación de microesferas es una variable significativa para un buen desempeño.
- Aktan y Schnell (2004) evaluaron la visibilidad nocturna en tres tipos de demarcación vial, incluyendo cinta preformada y pintura de tránsito, con varios tipos de microesferas de vidrio. Las microesferas de alto índice de refracción mostraron el mejor desempeño.
- Hollingsworth (2012) estudió el efecto de diferentes tipos y tamaños de microesferas de vidrio, y recomendó el uso de material termoplástico con microesferas de graduación estándar, por buen desempeño junto con un análisis de costo-beneficio.
- Kopf (2004) incorporó un análisis de curvas de degradación de la retrorreflexividad y determinó que el comportamiento de este parámetro a través del tiempo es impredecible y depende de muchos factores. En este proyecto se seleccionaron 80 secciones de carretera y se utilizó pintura base solvente y base agua. Se eligieron rangos de desempeño y se extrapolaron los datos para estimar la vida útil de la demarcación. El estudio atribuye la variabilidad a los cambios que se generan durante el proceso de aplicación por las diferentes cuadrillas de trabajo, la inherente variabilidad del equipo, diferentes condiciones ambientales al momento de medir, la profundidad de las microesferas en los diferentes puntos de medición y las inconsistencias propias de la retrorreflexividad.
- La Administración Federal de Autopistas de Estados Unidos (FHWA) también ha investigado sobre la durabilidad de estos materiales, y algunos factores influyentes son: configuración de la demarcación, tipo de superficie, velocidad de los vehículos y el tipo de vehículo (2007).

- Holzschuher et al. (2010) cuantificaron el nivel de precisión y la repetitividad de la toma de datos usando un retrorreflectómetro móvil. Los resultados mostraron que las lecturas en un mismo sitio no deberían variar más de 20,1 mcd/m²/lx; es decir, un 6,7 %, para un nivel de confianza de 95 %.
- Otros autores como Robertson, Sarasua, Johnson & Davis (2012) presentaron resultados similares a los antes mencionados, donde no se logró determinar un modelo de deterioro que describiera el comportamiento de la pintura retrorreflectiva a lo largo del tiempo. Sin embargo, se obtuvieron resultados importantes como los factores que intervienen en el deterioro de las pinturas, así como información acerca del desempeño de los equipos de medición utilizados y algunos procesos de calibración de estos.

5. Metodología

Las rutas analizadas se muestran en la Figura 2. La ruta 3 fue demarcada con material termoplástico, la ruta 110 con pintura base solvente y la ruta de travesía enfrente del LanammeUCR con pintura base agua.

Figura 2. Secciones de estudio, rutas nacionales 3, 110 y la ruta de travesía LanammeUCR. Fuente: El autor, 2014.



La Figura 3 muestra un ejemplo de demarcación vial con pintura base agua, la cual se utilizó en la ruta de travesía enfrente del LanammeUCR. La Figura 4 muestra el retrorreflectómetro manual portátil del LanammeUCR utilizado para medir el desempeño de la demarcación vial.

Las mediciones de retrorreflexión horizontal se dan en unidades mcd/m²/lx (milicandelas por metro cuadrado por lux), y el equipo fue fabricado de acuerdo con la norma ASTM E 1710. Los datos del retrorreflectómetro manual se descargan en la computadora, y queda registrado el kilómetro, tipo y color de línea, el valor de retrorreflexión nocturna RL con

geometría a 15 m y a 30 m, el valor de retrorreflexión diurna QD, la humedad relativa rH, la temperatura ambiente Ta y las coordenadas geográficas. Además, el software calcula las estadísticas básicas: moda, máximo, mínimo, media y desviación estándar de los datos.

Figura 3. Demarcación con pintura base agua en ruta de travesía enfrente del LanammeUCR. Fuente: LanammeUCR, 2012.



Figura 4. Retrorreflectómetro manual portátil. Fuente: LanammeUCR, 2012.



6. Niveles de retrorreflexión

Costa Rica cuenta con normas de INTECO en el tema de demarcación vial horizontal, el cual fue un esfuerzo de los diferentes sectores relacionados con la demarcación vial horizontal, tanto instituciones públicas como empresas privadas. En estas normas se establecen valores mínimos de retrorreflexión inicial para fiscalización y control de calidad de los proyectos de demarcación vial horizontal en el país,

tanto para pinturas base agua, base solvente, como para material termoplástico. En forma adicional, se incluyeron valores mínimos de retrorreflexión a 6 meses para el material termoplástico, por contar este con microesferas de vidrio premezcladas.

Para efectos de investigación, la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-LanammeUCR estableció una clasificación en cuatro categorías para los niveles de retrorreflexión, para pinturas base agua, base solvente y material termoplástico. Además, se establecieron valores diferentes para color blanco y color amarillo, ya que el blanco posee una mayor capacidad de reflectancia.

Tabla 1. Niveles de retrorreflexión para demarcación vial horizontal.

Material	Pintura base agua y solvente (Valores en mcd/m ² /lx)		Material termoplástico (Valores en mcd/m ² /lx)	
	Blanca	Amarilla	Blanca	Amarilla
Muy buena	> 200	> 150	> 400	> 300
Buena	150 - 200	125 - 150	325 - 400	200 - 300
Regular	100 - 150	100 - 125	100 - 325	100 - 200
Mala	< 100	< 100	< 100	< 100

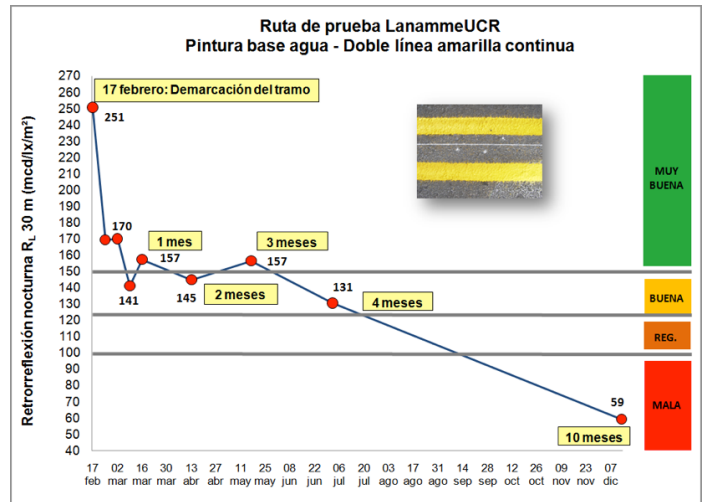
Fuente: El autor, 2013.

7. Análisis de resultados

Cada sitio de estudio fue analizado con base en la toma de lecturas de retrorreflexión con equipo manual, la cual se llevó a cabo por un periodo máximo de 10 meses. Cabe mencionar que los valores de retrorreflexión mostrados en el gráfico son promedios de datos puntuales dada la precisión del láser del retrorreflectómetro, por lo que están sujetos a una variabilidad típica de este ensayo. Por lo tanto, es importante analizar la tendencia global y no los datos puntuales, para no incurrir en una malinterpretación de los resultados.

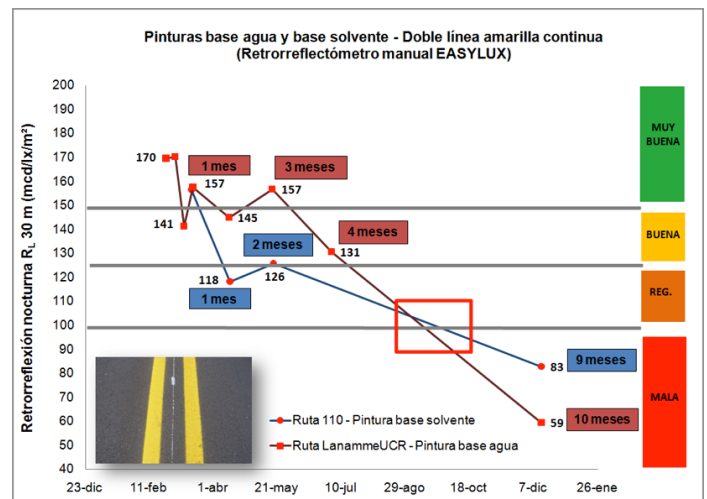
Pinturas base agua: Esta pintura mostró un buen desempeño durante los primeros 3 meses en la ruta de travesía de tránsito bajo-medio pero a partir del cuarto mes se aceleró su desgaste. Como parte del experimento, se midió la retrorreflexión el mismo día de la instalación de la demarcación, con el fin de observar la pérdida inicial de retrorreflectividad durante los primeros 7-14 días, lo cual se considera normal debido a las microesferas superficiales que se desprenden con el paso de los vehículos. Por ello es que se recomienda esperar de 7 a 14 días para la lectura inicial de retrorreflexión, para efectos de verificación de la calidad de la demarcación instalada. Asumiendo un deterioro lineal entre mediciones, la vida útil de esta pintura se podría estimar en 6 meses, llegando a una retrorreflexión mínima de 100 mcd/m²/lx, lo cual se observa en la Figura 5.

Figura 5. Resultados de retrorreflexión: pintura base agua, doble línea amarilla continua. Fuente: El autor, 2014.



Pintura base solvente: La ruta 110, demarcada con esta pintura, es una arteria urbana principal con tránsito promedio diario por encima de 20 000 vpd, dos carriles por sentido, alto flujo de vehículos pesados (principalmente buses) y motocicletas. Durante los primeros 2-3 meses la demarcación tuvo un buen desempeño, y luego se aceleró su desgaste hasta llegar casi al mínimo de 100 mcd/m²/lx a los 9 meses. En la Figura 6 se muestran los resultados para la doble línea amarilla continua. En el caso de la pintura blanca base solvente, la retrorreflexión inicial alcanzó 300 mcd/m²/lx, llegando al mínimo de 100 mcd/m²/lx a los 8 meses, aproximadamente.

Figura 6. Comparación de retrorreflexión: base agua y base solvente. Fuente: El autor, 2014.



Comparación base agua - base solvente: Ambas pinturas de tránsito presentaron un desempeño muy similar, lo cual es congruente con la experiencia en el país y la experiencia internacional, tal como se observa en la Figura 6. La pintura base agua mostró valores iniciales más altos que la pintura

base solvente; sin embargo, con base en curvas empíricas de mejor ajuste se estimó una durabilidad de la pintura amarilla de 6 meses y de la pintura blanca de 8 meses.

Material termoplástico: La ruta 3, demarcada con este material, es también una arteria urbana principal con tránsito promedio diario por encima de 20 000 vpd, dos carriles por sentido. Los resultados muestran valores iniciales de retrorreflexión aceptables, pero en una categoría "regular", en promedio. La demarcación blanca se mantuvo más estable a lo largo de los meses, y aún se mostraba en un rango regular a los 9 meses después de su aplicación; todavía con una vida útil remanente. Por su parte, el material termoplástico amarillo a los 9 meses había bajado casi al mínimo aceptable de 100 mcd/m²/lx.

Comparación base solvente - material termoplástico: La Figura 7 muestra un ejemplo de comparación entre material termoplástico y pintura base solvente para el caso de doble línea amarilla, mientras que en la Figura 8 se presentan las comparaciones para la línea blanca, con su respectiva clasificación de desempeño según los niveles de retrorreflexión. Los resultados no muestran ser congruentes con la durabilidad y el desempeño esperado del material termoplástico, tanto por la experiencia internacional, como por lo observado en campo en el país, a pesar de ser valores mayores a los de la pintura solvente. El material termoplástico blanco tuvo un mejor desempeño que el amarillo, en el periodo de 9 meses.

8. Lecciones aprendidas

Esta primera fase del proyecto permitió iniciar el estudio del desempeño de la demarcación vial en Costa Rica, con tres tecnologías: pintura base agua, pintura base solvente y material termoplástico. La revisión de literatura también permitió profundizar en el conocimiento de los materiales de demarcación vial y su durabilidad, a partir del estudio de diversos factores influyentes.

- Algunos aspectos que se tomarán en cuenta en las siguientes fases del proyecto son:
- Se recomienda ampliar la muestra de rutas monitoreadas y en diversas zonas del país, con el fin de incorporar el factor climático como un factor influyente, sobre todo en nuestro país. Basado en los resultados de la primera fase, se observa que el inicio de la época lluviosa podría haber acelerado el proceso de desgaste de la demarcación vial, de allí la necesidad de profundizar en el estudio de este factor.
- Se recomienda tomar los datos en campo con dos retrorreflectómetros manuales de marcas diferentes, con el fin de comparar resultados y analizar así la sensibilidad y precisión de los equipos. De ser posible, se le dará continuación a las mediciones con el retrorreflectómetro móvil, para poder validar el uso de este equipo en la verificación de la calidad de los proyectos de demarcación vial en el país.

- Se recomienda incorporar otros factores influyentes en el análisis, tales como el volumen vehicular, el porcentaje de vehículos pesados, el tipo y estado del pavimento
- Para efectos de control, se recomienda llevar un registro del proceso de demarcación, incluyendo la calidad de los materiales y su instalación.
- Se recomienda, además, ampliar la literatura investigada, con el fin de considerar la experiencia internacional en el tema del desempeño de los materiales de demarcación vial horizontal, y los factores influyentes en su deterioro.

Figura 7. Comparación de retrorreflexión: base solvente y termoplástico, doble línea amarilla. Fuente: El autor, 2014.

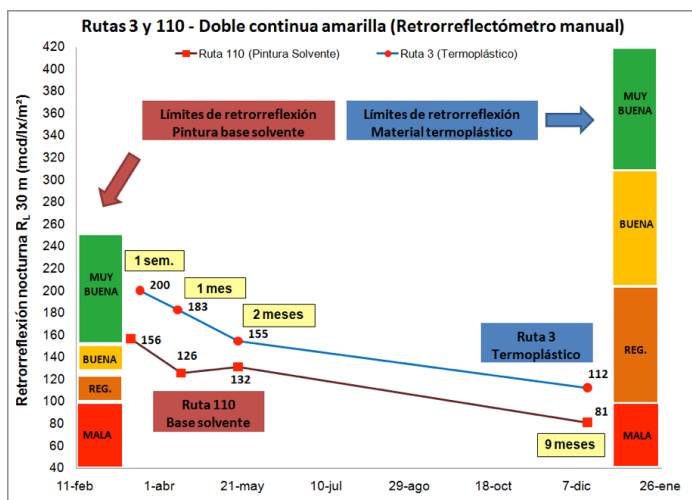
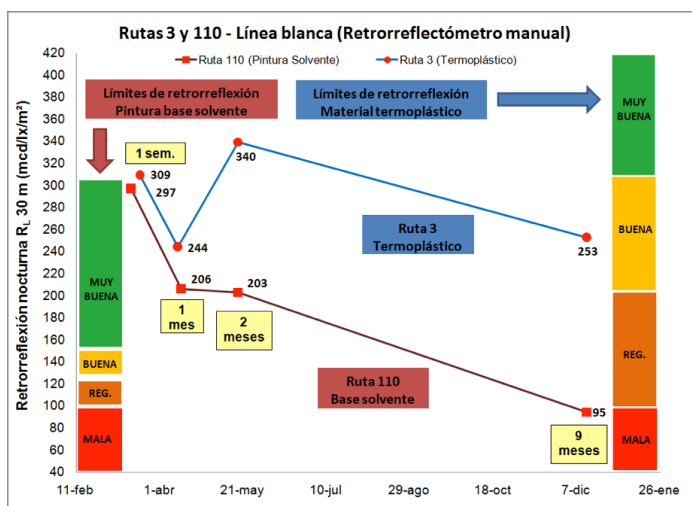


Figura 8. Comparación de retrorreflexión: base solvente y termoplástico, línea blanca. Fuente: El autor, 2014.



9. Referencias bibliográficas

Aktan y Schnell (2004). Performance evaluating of pavement markings under dry, wet, and rainy conditions in the field. Minnesota.

Departamento de transportes de Estados Unidos USDOT, Administración federal de autopistas FHWA (2007). Updates to research on recommended minimum levels for pavement marking retroreflectivity to meet driver night visibility needs. (Informe número: FHWAT-HRT-07-059). Virginia: Departamento de transportes de los Estados Unidos.

Hollingsworth. (2012). Understanding the impact of bead type on paint and thermoplastic pavement markings. Ohio: Instituto de Tecnología de la Fuerza Aérea.

Holzschuher, Choubane, Fletcher, Sevearance y Lee. (2010). Repeatability of mobile retroreflectometer unit for measurement of pavement markings. Journal of the Transportation Research Board No. 2169, Transportation Research Board of the National Academies, pp. 95-106, Washington, D.C.

Kopf, J. (2004). Reflectivity of pavement markings: Analysis of retroreflectivity degradations curves. Washington: Comisión de transporte del estado de Washington.

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT), 2001. Manual de Señalización de Tránsito: Demarcaciones. Chile.

Rasdorf, W., Hummer, J., Zhang, G. y Sitzabee, W. (2009). Pavement marking performance analysis. Carolina del Norte: Departamento de transporte de Carolina del Norte.

Robertson, J., Sarasua, W., Jonhson, J. y Davis, W. (2012). A methodology for estimating and comparing the lifecycles of high – build and conventional waterborne pavement markings on primary and secondary roads in South Carolina. Carolina del Sur: SAGE.

Thamizharasan, A., Sarasua, W. y Clarke, D. (2002). A methodology for estimating the lifecycle of interstate highway pavement marking retroreflectivity. (Informe número 03-3867) Carolina del Sur: TRB.

Programa de Infraestructura del Transporte - PITRA

Ing. Luis Guillermo Loría, PhD.
Coordinador General

Ing. Fabián Elizondo, MBA
Subcoordinador

Unidades

Unidad de Auditoría Técnica

Ing. Wendy Sequeira, MScE.
Coordinadora

Unidad de Materiales y Pavimentos

Ing. José Pablo Aguiar, PhD.
Coordinador

Unidad de Evaluación de la Red Vial

Ing. Roy Barrantes
Coordinador

Unidad de Gestión Municipal

Ing. Jaime Allen, MSc.
Coordinador

Unidad de Desarrollo y Actualización de Especificaciones Técnicas

Ing. Raquel Arriola
Coordinadora

Unidad de Puentes

Ing. Roy Barrantes
Coordinador

Unidad de Seguridad Vial y Transporte

Ing. Diana Jiménez, MSc., MBA
Coordinadora