



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

PROYECTO PRELIMINAR PARA GENERAR ESPECIFICACIONES DE RETROREFLEXIÓN HORIZONTAL PARA SISTEMAS DE DEMARCACIÓN VIAL EN COSTA RICA

Preparado por:

Ing. Javier Zamora Rojas, MScE

Ing. Diana Jiménez Romero, MBA, MSc

Ing. Erick Acosta Hernández

Ing. Ellen Rodríguez Castro

Quim. Jorge Salazar Delgado



San José, Costa Rica

Marzo, 2012



Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	3
2. ESPECIFICACIONES DE REFERENCIA PARA RETRORREFLEXIÓN HORIZONTAL	5
3. EQUIPOS APA, RUEDA DE HAMBURGO Y RUEDA CARGADA DEL LANAMMEUCR	7
4. EQUIPOS DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE RETRORREFLEXIÓN EN EL LANAMMEUCR	11
5. MÉTODO DE ENSAYO ASTM D 4061 – 94 (2006): RETRORREFLECTANCIA DE PINTURAS DE TRÁNSITO	13
6. TRAMO DE PRUEBA: MEDICIÓN DE RETRORREFLEXIÓN EN CAMPO	14
7. CONCLUSIONES.....	19
8. REFERENCIAS	22



1. Introducción

En materia de seguridad vial, uno de los temas de mayor interés y polémica a nivel nacional, ha sido el de la durabilidad y desempeño de las pinturas y materiales para demarcación vial. Existe mucho desconocimiento sobre el efecto que tiene el estado del pavimento, el clima y el tránsito de nuestras carreteras en la durabilidad de las pinturas de tránsito. Uno de las principales carencias en este tema es la falta de especificaciones de retrorreflexión para la demarcación vial horizontal como parámetro de desempeño, así como una inspección más rigurosa cuando se están ejecutando los proyectos.

Durante este año 2012, muchas vías nacionales serán demarcadas con diferentes materiales, y existe aún mucha duda y preocupación acerca del desempeño que estos vayan a tener. Es por ello que la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-LanammeUCR, apoyando la gestión de la Administración, ha definido como prioridad la investigación en el tema de demarcación vial horizontal, que sirva como insumo para poder generar las especificaciones técnicas de retrorreflexión horizontal, que se adapten a las condiciones particulares de Costa Rica, en cuanto al estado de la red vial, el clima, el tránsito y demás factores influyentes.

Cabe destacar que esta propuesta de investigación va de la mano con la iniciativa que está realizando 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 está integrado por miembros de diferentes sectores, incluyendo a la Administración, INTECO, el LanammeUCR, los fabricantes de pinturas, y las empresas que se dedican a la demarcación vial.



Este documento se realizó a manera de anteproyecto, el cual servirá de insumo para la propuesta formal de investigación. En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica inicial de especificaciones de retrorreflexión horizontal que se utilizan en otros países, a manera de referencia. (**Sección 2**)

Dado que el LanammeUCR cuenta con una amplia gama de equipos en el área de pavimentos, se analizó la posibilidad de utilizar el analizador de pavimentos asfálticos (APA), la Rueda de Hamburgo y la Rueda Cargada para ensayos a escala reducida de desgaste de la demarcación vial. (**Sección 3**)

En la **Sección 4**, se muestran los equipos con los que cuenta actualmente el LanammeUCR para medición de retrorreflexión horizontal en campo, y en la **Sección 5** se describe el ensayo ASTM D 4061 para medición de retrorreflexión horizontal en laboratorio. El LanammeUCR aún no cuenta con este equipo, y se está valorando su adquisición para la primera etapa de implementación del Laboratorio de Materiales de Seguridad Vial del LanammeUCR, una vez que finalice la construcción del nuevo edificio.

Finalmente, en la **Sección 6** se muestran los resultados iniciales de retrorreflexión horizontal de un tramo de prueba que la Dirección General de Ingeniería de Tránsito demarcó a solicitud de la Unidad de Seguridad Vial y Transporte. Esta prueba se realizó con pintura base agua, y en este documento se presentan los resultados de retrorreflexión horizontal de las primeras tres semanas posteriores a la demarcación.

2. Especificaciones de referencia para retrorreflexión horizontal

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).

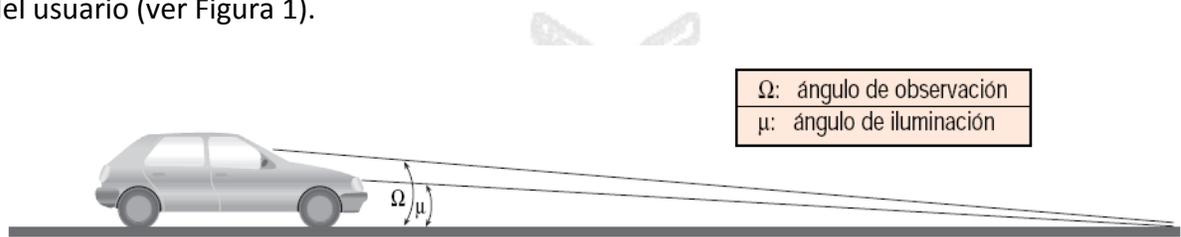


Figura 1. Ángulos de iluminación y observación. (MTT, 2001)

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. La siguiente tabla muestra valores de referencia de retrorreflexión inicial y a los 6 meses, según el Departamento de Transportes de la Florida (FDOT, 2010) y la AEN/CTN 135 (2007), para pintura blanca y amarilla.

Tabla 1. Especificaciones de retrorreflexión de demarcación vial.

	Blanca (mcd/lx·m ²)	Amarilla (mcd/lx·m ²)	Fuente
Inicial	300	250	FDOT, 2010
A los 6 meses	150	150	
Inicial	300	150	(AEN/CTN 135, 2007)
A los 6 meses	200	150	

Se presentan también los valores de retrorreflexión mínimos establecidos en el Manual de Señalización de Tránsito de Chile (MTT, 2001).

Tabla 2. Especificaciones de retrorreflexión, según el ángulo de iluminación y observación.

Niveles mínimos de Retrorreflexión (mcd/lux·m ²)				
Ángulos		Colores		Fuente: Manual de Señalización de Tránsito: Demarcaciones (MTT, 2001)
Iluminación	Observación	Blanco	Amarillo	
3,5°	4,5°	120	95	
1,24°	2,29°	90	70	

En el caso de España, se establecen los siguientes valores mínimos de retrorreflexión:

Tabla 3. Especificaciones de retrorreflexión, para distintos plazos.

Tipo de demarcación	Coeficiente de Retrorreflexión (R _i) mcd/lx/m ²			Fuente: Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, Ministerios de Obras Públicas de España, 1999.
	30 días	180 días	730 días	
Blanco (permanente)	300	200	100	
Amarillo (temporal)	150			

Sección 700.4 "Especificaciones de la Unidad Terminada",
artículo 700 "Marcaciones Viales"

3. Equipos APA, Rueda de Hamburgo y Rueda Cargada del LanammeUCR

Después de analizar la posibilidad de realizar ensayos con equipos del LanammeUCR a demarcaciones horizontales, utilizando el analizador de pavimentos asfálticos (APA), la Rueda de Hamburgo y la Rueda Cargada, se considera que no es conveniente definir valores de especificación:

- Basándose en pruebas de laboratorio que no se fundamentan en procedimientos de ensayo reproducibles y repetibles.
- Condiciones de ensayo que no representan las condiciones reales en los cuales se va a desempeñar la demarcación horizontal y que, hasta el momento, no pueden correlacionarse.
- Usar equipo que ha sido desarrollado para otros fines.
- Resultados que no responden a una investigación formal.

A continuación se detalla para cada uno de los equipos que se plantearon utilizar en esta prueba, las razones por las cuales sus resultados no serían aplicables.

3.1 Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA)

El objetivo del APA es evaluar la susceptibilidad a la deformación permanente para lo cual aplica carga cíclicas. Los inconvenientes son los siguientes:

- La aplicación de la demarcación no reproduciría las condiciones reales.
- No es posible correlacionar la carga que se aplica con carga de tránsito, por lo que no se podrían extrapolar los resultados a condiciones reales.

- Las ruedas que usa el equipo para aplicar la carga sobre el espécimen, son de menor grosor y de metal, lo cual tiene un efecto diferente al de las ruedas anchas y de caucho de los vehículos, ya que desgastaría excesivamente la demarcación, haciéndola desaparecer en un periodo muy corto.
- Las ruedas pasarían sobre la demarcación triturando las microesferas, por lo que sería imposible correlacionar la retrorreflexión que se mediría con las condiciones reales de las rutas.
- El paso de la rueda del equipo sobre la demarcación, y por las características de la rueda, se provocaría un desgaste de la demarcación mucho más acelerado y severo.
- No es posible cuantificar cuan acelerado es el desgaste, por lo que no podría correlacionarse con las condiciones reales.
- No es un método de ensayo establecido ni cuenta con fundamentos que lo avalen, por lo que los resultados serían poco confiables.



Fotografía 1.
Analizador de Pavimentos Asfálticos



Fotografía 2.
Especimen utilizado en el APA

3.2 Rueda de Hamburgo

El objetivo de la Rueda de Hamburgo es determinar la susceptibilidad a la deformación permanente y el daño por humedad de mezclas asfálticas. Los inconvenientes son los siguientes:

- La aplicación de la demarcación no reproduciría las condiciones reales.
- Los especímenes están totalmente sumergidos durante todo el ensayo.
- No es posible correlacionar la carga que se aplica con carga de tránsito, por lo que no se podrían extrapolar los resultados a condiciones reales.
- Las ruedas que usa el equipo para aplicar la carga sobre el espécimen, metálicas de gran peso, por lo que el efecto que lo cual tiene un efecto diferente al de las ruedas anchas y de caucho de los vehículos, ya que desgastaría excesivamente la demarcación, haciéndola desaparecer en un periodo muy corto.
- Las ruedas que usa el equipo para aplicar la carga sobre el espécimen son metálicas de gran peso, lo que trituraría las microesferas, haciendo muy difícil correlacionar los resultados obtenidos con condiciones reales.
- Al igual que en el caso anterior, el paso de la rueda del equipo sobre la demarcación, y por las características de la rueda, se provocaría un desgaste de la demarcación mucho más acelerado y severo.
- No es posible cuantificar cuan acelerado es el desgaste, por lo que no podría correlacionarse con las condiciones reales.
- No es un método de ensayo establecido ni cuenta con fundamentos que lo avalen, por lo que los resultados serían poco confiables.



Fotografía 3.
Rueda de Hamburgo

3.3 Rueda Cargada

El objetivo de la Rueda Cargada es determinar el contenido máximo de asfalto para evitar exudación cuando se utilizan sellos de lechada asfáltica. Los inconvenientes son los siguientes:

- La aplicación de la demarcación no reproduciría las condiciones reales.
- El espécimen de ensayo tiene un ancho menor a 10 cm.
- No es posible correlacionar la carga que se aplica con carga de tránsito, por lo que no se podrían extrapolar los resultados a condiciones reales.
- La rueda que usa el equipo para aplicar la carga sobre el espécimen, es de menor grosor y de metal, lo cual tiene un efecto diferente al de las ruedas anchas y de caucho de los vehículos, ya que desgastaría excesivamente la demarcación, haciéndola desaparecer en un periodo muy corto.
- Las ruedas pasarían sobre la demarcación triturando las microesferas, por lo que sería imposible correlacionar la retroreflexión que se mediría con las condiciones reales de las rutas.
- El paso de la rueda del equipo sobre la demarcación, y por las características de la rueda, se provocaría un desgaste de la demarcación mucho más acelerado y severo.
- No es posible cuantificar cuan acelerado es el desgaste, por lo que no podría correlacionarse con las condiciones reales.
- No es un método de ensayo establecido ni cuenta con fundamentos que lo avalen, por lo que los resultados serían poco confiables.



Fotografía 4.
Rueda Cargada

4. Equipos de campo para medición de retrorreflexión en el LanammeUCR

El LanammeUCR cuenta actualmente con los siguientes equipos para medición de la retrorreflexión horizontal en campo.

4.1 Equipo Easylux: retrorreflectómetro horizontal de mano

Para el caso específico del equipo Easylux (equipo manual con que cuenta el LanammeUCR para la medición de retrorreflexión), el ángulo de iluminación de $1,24^\circ$ (ASTM E1710) corresponde a una geometría de 30 m y el ángulo de iluminación de $3,5^\circ$ corresponde a una geometría de 15 m.

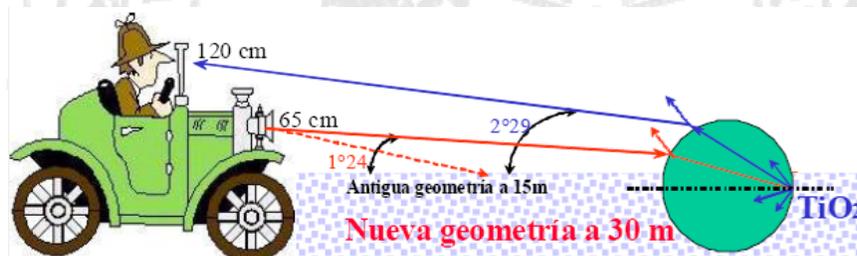


Figura 2. Geometría a 30 m. (CISEV, 2010)

Tabla 4. Especificaciones del Easylux para distinta geometría.

Características del Easylux		
Geometría	Observación	Incidencia
15 metros	1.5°	86.5°
30 metros	1.05°	88.76°

Rango de medición del Easylux:

Condición húmeda (R_L) : 0 a 2000 mcd/lx/m²

Difusión de luz (Q_D) 0 a 318 mcd/lx/m²



Fotografía 5.
Equipo Easylux

4.2 Equipo Laserlux: retrorreflectómetro horizontal dinámico

Para el caso del Laserlux (equipo dinámico con que cuenta el LanammeUCR para la medición de retrorreflexión), el ángulo de iluminación es de 1,24° (ASTM E1710), que corresponde a una geometría de 30 m.

Tabla 5. Especificaciones del Laserlux.

Características del Easylux		
Geometría	Observación	Incidencia
30 metros	1.05°	88.76°

El Laserlux puede realizar más de 720 mediciones por kilómetro si se transita a una velocidad de 100 km/h. Puede funcionar a diferentes temperaturas, en un rango de 2°C a 43°C, y bajo condiciones de humedad relativa entre 5 a 95%.



Fotografía 6.
Equipo Laserlux

5. Método de ensayo ASTM D 4061 – 94 (2006): Retrorreflectancia de pinturas de tránsito

En el caso de pruebas de laboratorio, la norma ASTM propone la medición de la retrorreflexión de pinturas para demarcación vial en su método de ensayo D 4061 “Retroreflectance of Horizontal Coatings”. Este método aplica tanto para pinturas como para cintas adhesivas que se utilizan para demarcación vial horizontal.

Este método es el que se recomienda para medición de las propiedades de retrorreflectancia en laboratorio, para lo cual hay que destinar un cuarto oscuro de al menos 15 metros de largo, en cual se arma el equipo para ensayo. Parte de este equipo incluye una fuente de luz, un fotoreceptor o telefotómetro, un soporte para el espécimen, un soporte para el receptor de la fuente. El esquema del equipo se muestra en la siguiente figura.

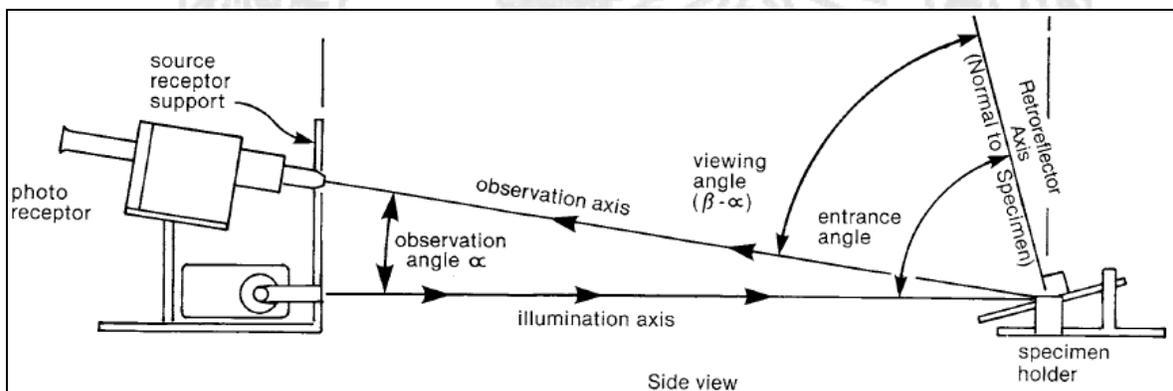


Figura 3. Esquema de la configuración de equipos para medición de retrorreflexión en el laboratorio. (Fuente: ASTM D 4061-94, 2006)

El desarrollo de este ensayo está previsto para la primera etapa de implementación del Laboratorio de Materiales de Seguridad Vial, una vez que el nuevo edificio esté disponible.

6. Tramo de prueba: medición de retroreflexión en campo

Dado que se llegó a la conclusión que el uso de los equipos APA, Rueda de Hamburgo y Rueda Cargada no es apropiado para realizar ensayos de demarcación vial horizontal por las razones expuestas en la Sección 3, se tomó la iniciativa de medir en campo valores preliminares de retroreflexión horizontal. Para ello, el día 17 de febrero del 2012 se coordinó con la Dirección General de Ingeniería de Tránsito para demarcar un tramo de prueba con pintura base agua y microesferas de vidrio.

El tramo de prueba se localiza frente al LanammeUCR, según se muestra en la Figura 4. Ver fotografías 7 y 8.



Figura 4. Tramo de control de medición de retroreflexión horizontal de pintura base agua.

(Fuente: Google maps, 2012)

Una hora después de terminada la demarcación, se hicieron mediciones de retrorreflexión con el equipo EasyLux (retroreflectómetro horizontal manual) y se obtuvo así un valor promedio para la geometría de 15 m y de 30 m, tal como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 6. Valor de retrorreflexión inicial obtenida para pintura acrílica amarilla.

	R _L (15 m)	R _L (30 m)	Q _D
Valores promedio en mcd/lx/m ²	424	250	133

Adicionalmente, el equipo toma mediciones de humedad relativa y temperatura, para un promedio de 48% y 27°C, respectivamente.

El valor obtenido de **250 mcd/lx/m²** (para una geometría de 30 m), coincide con el valor inicial especificado para la pintura amarilla del “Florida Department of Transportation” (FDOT, Standard Specifications for Road and Bridge Construction, 2010). Cabe destacar que la desviación estándar fue de 20 mcd/lx/m² para dicha geometría.



Fotografías 7 y 8.
Demarcación realizada por la DGIT.
Fecha: 17 de febrero 2012
Lugar: frente al LanammeUCR

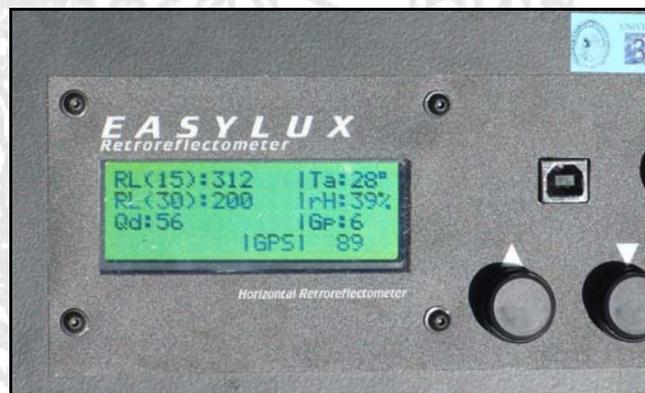
Los días 24 de febrero, 2 de marzo y 9 de marzo también se tomaron mediciones de retrorreflexión, con el fin de monitorear el deterioro del sistema de demarcación vial a una, dos y tres semanas después de haberse realizado la demarcación, comparando así los datos con las mediciones del 17 de febrero.

Este tramo de prueba seguirá siendo monitoreado de la siguiente manera: durante el primer mes las mediciones se harán en forma semanal, luego en los dos siguientes meses las mediciones se harán cada dos semanas, y los siguientes tres meses las mediciones serán mensuales, para un total de 6 meses de monitoreo. Al cumplirse este plazo, se tomará la decisión de si es conveniente o no seguir monitoreando este tramo de prueba.

Las siguientes dos fotografías ilustran el momento en que se están llevando a cabo las mediciones en el tramo de prueba con el equipo EASYLUX.



Fotografía 9. Medición de retrorreflexión con el equipo EASYLUX en el tramo de prueba, frente a la entrada principal del LanammeUCR.



Fotografía 10. Pantalla del equipo EASYLUX, donde se indican los valores de retrorreflexión horizontal para las geometrías de 15 m y 30 m, así como el Q_d , la temperatura ambiente y el porcentaje de humedad relativa.

Los resultados de las 3 primeras semanas de medición se muestran a continuación:

Tabla 7. Resultados de retrorreflexión horizontal para pintura acrílica amarilla durante las primeras tres semanas de monitoreo del tramo de prueba.

Fecha de medición	17 de febrero Día 0	24 de febrero Semana 1	2 de marzo Semana 2	2 de marzo (*)	9 de marzo Semana 3
R_L (15 m) valor promedio en mcd/lx/m^2	424 ± 25	298 ± 40	292 ± 43	295 ± 23	223 ± 45
R_L (30 m) valor promedio en mcd/lx/m^2	250 ± 20	169 ± 28	170 ± 23	170 ± 20	141 ± 21
Difusión de luz (Q_D) valor promedio en mcd/lx/m^2	133 ± 8	65 ± 10	67 ± 9	65 ± 7	52 ± 7
Humedad relativa (%)	48	33	35	32	58
Temperatura ambiente (°C)	27	34	31	32	22
Número de puntos muestreados	14	34	34	16	34

(*) A manera de referencia, se tomaron estas mediciones de retrorreflexión después de haber barrido el pavimento en los puntos de medición, con el fin de remover suciedad superficial que pudiera afectar los niveles de retrorreflexión.

Tal como se puede analizar de la tabla anterior, se dio un cambio significativo en la retrorreflexión durante la primera semana. Una de las teorías que se manejan, es que recién demarcada una vía, quedan microesferas de vidrio muy superficiales que aumentan la retrorreflexión, pero que con el paso de los vehículos desaparecen, y permanecen aquellas que quedaron debidamente embebidas en la pintura.

En la siguiente figura se muestra el cambio en la retrorreflexión horizontal para una geometría de 30 m, y se muestran algunas especificaciones internacionales de niveles mínimos de retrorreflexión horizontal para pintura de tránsito amarilla.

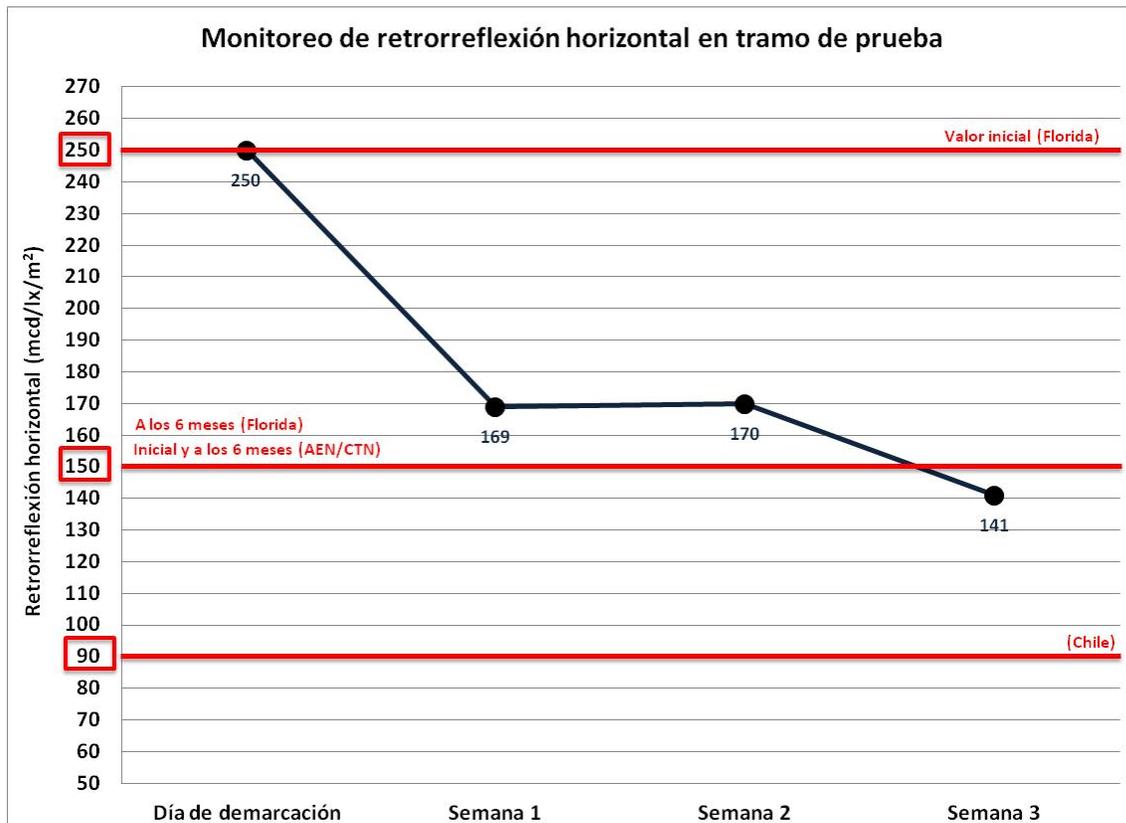


Figura 5. Representación gráfica del monitoreo de retroreflexión horizontal en el tramo de prueba, durante las primeras 3 semanas de mediciones.

Tal como se observa, el promedio de **250 mcd/lx/m²** de las lecturas de retroreflexión horizontal en el día en que se efectuó la demarcación, coincide con el valor inicial especificado por el Departamento de Transportes de la Florida. Después de una semana de tránsito vehicular normal por la zona, el promedio bajó a **169 mcd/lx/m²**, el cual se mantuvo constante durante la segunda semana. Para la tercera semana, el promedio bajó a **141 mcd/lx/m²**, ya por debajo de los valores mínimos especificados a 6 meses tanto en la Florida, como por parte del Comité Técnico de Normalización en España (AEN/CTN). En el caso de la especificación chilena, se exige únicamente un mínimo de **90 mcd/lx/m²**, por lo que hasta el momento las mediciones en el tramo de prueba cumplen con este valor.

7. Conclusiones

Después de haber llevado a cabo una revisión bibliográfica inicial sobre especificaciones de retrorreflexión horizontal, se observa que en algunos lugares del mundo se especifica de manera diferente para pintura de color blanco y de color amarillo. En algunos sitios se exige un mínimo de retrorreflexión horizontal inicial, y un valor diferente a los 6 meses después de finalizada la demarcación. En otros lugares, tal como en Chile, se especifica un único valor, sin hacer referencia a la vida útil de la demarcación vial.

En cuanto al posible uso de equipos de análisis de pavimentos para simular el desgaste de la demarcación vial, se considera que no es conveniente definir valores de especificación de retrorreflexión con base en estos equipos, específicamente el *Analizador de pavimentos asfálticos (APA)*, la *Rueda de Hamburgo* y la *Rueda Cargada*; dado que las pruebas de laboratorio realizadas en estos equipos no se fundamentan en procedimientos de ensayo reproducibles y repetibles, ni con un respaldo internacional. Además, los resultados no responden a una investigación formal y las condiciones de ensayo no representan las condiciones reales en los cuales se va a desempeñar la demarcación horizontal.

Los equipos de medición de retrorreflexión que posee el LanammeUCR (EasyLux y LaserLux) son equipos diseñados para hacer mediciones en campo, por lo que no se considera adecuado que sean utilizados para realizar pruebas de laboratorio. El equipo especial para medición de retrorreflexión horizontal en el laboratorio según el método de ensayo ASTM D 4061 podría ser adquirido por el LanammeUCR como parte del equipamiento del Laboratorio de Materiales de Seguridad Vial.



A manera de anteproyecto, se tomó la decisión de llevar a cabo un tramo de prueba para la medición en campo de la retroreflexión horizontal. Para ello se solicitó la colaboración de la Dirección General de Ingeniería de Tránsito, quienes pintaron un tramo de prueba en la calle que pasa enfrente de la entrada principal del LanammeUCR. Se demarcó con pintura base agua (acrílica) y microesferas de vidrio.

Posterior a la demarcación, se tomaron mediciones de retroreflexión, para un promedio de 250 mcd/lx/m^2 , correspondiente a una geometría de 30 metros. Se tomaron mediciones una semana después, donde se evidenció una caída significativa de los niveles de retroreflexión, con un promedio de 169 mcd/lx/m^2 . Este valor se mantuvo durante la segunda semana, y nuevamente se evidenció una disminución a las tres semanas, para un promedio de 141 mcd/lx/m^2 . Es posible que la caída inicial en los niveles de retroreflexión, se deban a que justamente después de efectuarse la demarcación vial, muchas microesferas de vidrio permanecen sobre la pintura en forma superficial. Una vez que la calle se abre nuevamente al flujo vehicular, estas microesferas son removidas por el mismo tránsito, y las microesferas que permanecen, son aquellas que quedaron debidamente embebidas en la pintura en todo su espesor.

Finalmente, se observa que el promedio de retroreflexión horizontal a las tres semanas de 141 mcd/lx/m^2 , se encuentra ya por debajo del mínimo de 150 mcd/lx/m^2 definidos por el Departamento de Transportes de la Florida, y por el Comité Técnico de Normalización de España. Por otra parte, la especificación chilena es menos rigurosa, estableciendo un valor mínimo general para pintura amarilla de 90 mcd/lx/m^2 .

A partir de estos resultados, se comenzará a trabajar en una propuesta formal de investigación. Se van a realizar tramos de prueba para distintos tipos de pintura y color, de



forma que se pueda llegar a determinar un valor inicial de cumplimiento para la demarcación vial (pintura base agua, pintura base solvente y material termoplástico, tanto para color blanco como para amarillo). Estos tramos de prueba serán coordinados con la Administración, aprovechando los proyectos de demarcación vial horizontal que están previstos para este año 2012.

Se van a realizar mediciones a lo largo del tiempo, bajo distintas condiciones de temperatura, humedad, clima, tránsito y estado del pavimento, para así poder evaluar el desempeño de la demarcación vial. Además, esta investigación tomará en cuenta línea amarilla de centro, líneas blancas de carril y de borde, así como las flechas y letras de color blanco; esto porque el tránsito incide de manera diferente sobre cada una de ellas, y además el proceso de colocación de las microesferas de vidrio se realiza en forma diferente. Por ejemplo, es común que las líneas de centro sean demarcadas con equipo autopropulsado y las líneas discontinuas de carril con equipo manual; y ambos equipos dosifican las microesferas de vidrio a una cierta presión y tasa de colocación. Por otra parte, en las flechas y letras, las microesferas de vidrio se colocan manualmente, lo cual va a influir en los niveles de retroreflexión.

Adicionalmente, se va a analizar la posibilidad de realizar a mediano plazo esta investigación en un ambiente controlado de laboratorio utilizando el equipo HVS (Heavy Vehicle Simulator) con el que va a contar el LanammeUCR en los próximos meses para análisis de desgaste de pavimentos. Los resultados de ambas investigaciones se podrán comparar, con el fin de determinar si el equipo HVS puede simular las condiciones reales en el ámbito de la demarcación vial horizontal.

8. Referencias

- [1] AEN/CTN 135 – Equipamiento para la Señalización Vial, 2007. Materiales para señalización vial horizontal. Comportamiento de las marcas viales aplicadas sobre la calzada (EN 1436:2007).
- [2] Congreso Iberoamericano de Seguridad Vial (CISEV), 2010. Edelmuth, A. Materiales para demarcación horizontal en nuestra región.
- [3] COSEVI y DGIT, 1992. Manual de especificaciones técnicas para señalamiento horizontal y vertical en las carreteras IT-91. San José, Costa Rica.
- [4] Federal Highway Administration (FHWA), 2003. Manual on Uniform Traffic Control Devices, U.S.
- [5] Florida Department of Transportation (FDOT), 2010. Standard Specifications for Road and Bridge Construction.
- [6] Ministerios de Obras Públicas de España, 1999. Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes.
- [7] Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT), 2001. Manual de Señalización de Tránsito: Demarcaciones. Chile.
- [8] Secretaría de Integración Económica de Centroamérica (SIECA), 2000. Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito.

ANEXO A

MEDICIONES PUNTUALES DE RETRORREFLEXIÓN HORIZONTAL EN EL TRAMO DE PRUEBA ENFRENTA DEL LanammeUCR DURANTE LAS 3 PRIMERAS SEMANAS

Día 17 de febrero del 2012 (este día se llevó a cabo la demarcación de doble línea amarilla)

Medición	R _L (15 m) [mcd/m ² /lx]	R _L (30 m) [mcd/m ² /lx]	Q _D [mcd/m ² /lx]	rH [%]	Ta [°C]	Latitud	Longitud
1	414	227	144	55	25	9.931346667	-84.044645
2	446	277	127	55	25	9.933805	-84.044925
3	406	259	128	53	25	9.934111667	-84.04492667
4	445	254	134	53	26	9.934111667	-84.04492667
5	377	227	123	52	26	9.934131667	-84.045065
6	472	278	122	51	26	9.934131667	-84.045065
7	439	252	145	47	28	9.934661667	-84.045555
8	436	261	134	46	28	9.934661667	-84.045555
9	436	252	130	44	28	9.934673333	-84.04572667
10	399	239	140	44	28	9.934673333	-84.04572667
11	405	219	145	43	29	9.934708333	-84.04589333
12	412	245	127	43	29	9.934708333	-84.04589333
13	444	282	126	43	29	9.934773333	-84.04611667
14	403	234	132	42	29	9.934765	-84.04612333
Promedio	424	250	133	48	27		
Des.Est.	25.3	20.0	8.0	5.0	1.6		

Día 24 de febrero del 2012

Medición	R _L (15 m) [mcd/m ² /lx]	R _L (30 m) [mcd/m ² /lx]	Q _D [mcd/m ² /lx]	rH [%]	Ta [°C]	Latitud	Longitud
1	350	193	77	39	30	9.934488333	-84.04485
2	327	173	71	39	31	9.93448	-84.04489
3	369	201	73	37	32	9.93448	-84.044875
4	329	177	75	37	32	9.93448	-84.044875
5	306	179	67	37	32	9.93448	-84.04486833
6	321	181	63	36	32	9.93448	-84.04486833
7	290	154	83	36	32	9.934481667	-84.04494
8	306	171	53	36	32	9.934493333	-84.04497
9	304	197	69	36	32	9.934493333	-84.04497
10	316	189	53	36	33	9.934493333	-84.04497
11	354	233	56	35	33	9.934503333	-84.04502667
12	305	177	65	35	33	9.934503333	-84.04502667
13	373	221	64	35	33	9.934525	-84.045145
14	286	169	62	35	33	9.934525	-84.045145
15	328	196	51	34	33	9.934525	-84.045145
16	287	168	62	34	33	9.934525	-84.045145
17	331	190	80	31	35	9.934648333	-84.04548667
18	340	195	75	31	35	9.934648333	-84.04548667
19	267	136	64	32	35	9.93466	-84.04556833
20	265	135	59	31	35	9.93466	-84.04556833
21	286	148	44	31	35	9.934676667	-84.04558667
22	258	123	70	31	35	9.934676667	-84.04558667
23	314	170	69	31	35	9.934676667	-84.04558667
24	278	162	64	31	35	9.934695	-84.04567833
25	308	164	79	31	35	9.934703333	-84.04569
26	238	125	72	31	35	9.934703333	-84.04569
27	269	138	50	31	35	9.934703333	-84.04569
28	258	145	70	31	35	9.934723333	-84.04583667
29	264	148	53	31	35	9.934723333	-84.04583667
30	278	166	51	30	35	9.934778333	-84.046
31	287	164	60	30	35	9.934781667	-84.04600167
32	285	160	75	30	35	9.934785	-84.04607167
33	294	179	59	30	35	9.9348	-84.04612833
34	167	103	64	30	36	9.9348	-84.04612833
Promedio	298	169	65	33	34		
Des.Est.	40.1	27.7	9.7	2.9	1.5		

Día 2 de marzo del 2012

Medición	R _L (15 m) [mcd/m ² /lx]	R _L (30 m) [mcd/m ² /lx]	Q _D [mcd/m ² /lx]	rH [%]	Ta [°C]	Latitud	Longitud
1	340	175	70	44	26	9.934485	-84.04499667
2	318	184	77	44	26	9.934485	-84.04499667
3	303	169	61	43	26	9.934476667	-84.04490167
4	333	202	72	43	27	9.934468333	-84.04491667
5	285	169	62	42	27	9.934471667	-84.04491833
6	304	167	67	42	27	9.934471667	-84.04491833
7	274	157	60	42	27	9.934471667	-84.04491833
8	285	159	57	41	27	9.934475	-84.04494167
9	280	177	69	40	28	9.934486667	-84.04497
10	245	151	57	40	28	9.934486667	-84.04497
11	281	156	66	40	28	9.934486667	-84.04497
12	312	200	56	39	28	9.934486667	-84.04497
13	358	213	65	38	29	9.93452	-84.04516333
14	283	169	67	38	29	9.93452	-84.04516333
15	311	194	55	37	29	9.93452	-84.04516333
16	281	159	44	37	30	9.934538333	-84.04524167
17	325	187	76	30	34	9.934826667	-84.04611833
18	371	231	71	30	34	9.934826667	-84.04611833
19	269	140	70	30	33	9.934826667	-84.04611833
20	247	131	72	30	33	9.934826667	-84.04611833
21	268	132	65	30	33	9.934826667	-84.04611833
22	280	152	75	30	33	9.934826667	-84.04611833
23	314	166	70	30	33	9.934735	-84.04583167
24	317	202	73	30	33	9.934735	-84.04583167
25	309	167	81	30	33	9.934735	-84.04583167
26	118	138	70	30	33	9.934735	-84.04583167
27	329	192	67	30	33	9.934735	-84.04583167
28	296	169	74	30	33	9.934735	-84.04583167
29	293	171	63	30	33	9.934725	-84.04588
30	289	177	47	30	33	9.934725	-84.04588
31	286	157	72	30	33	9.934725	-84.04588
32	282	170	73	30	33	9.934725	-84.04588
33	294	154	78	31	33	9.934745	-84.04596667
34	241	137	75	31	33	9.934745	-84.04596667
Promedio	292	170	67	35	31		
Des.Est.	42.5	23.3	8.5	5.6	2.9		

Día 2 de marzo del 2012 (Después de barrer la superficie)

Medición	R _l (15 m) [mcd/m ² /lx]	R _l (30 m) [mcd/m ² /lx]	Q _b [mcd/m ² /lx]	rH [%]	Ta [°C]	Latitud	Longitud
1	287	144	66	34	31	9.934488333	-84.04491667
2	299	169	72	34	31	9.934488333	-84.04491667
3	329	184	76	33	31	9.934475	-84.04488
4	328	192	66	33	31	9.934473333	-84.04488333
5	297	184	62	32	32	9.934461667	-84.044905
6	303	166	64	32	32	9.934461667	-84.044905
7	262	143	70	32	32	9.934461667	-84.04492167
8	289	159	58	32	32	9.934461667	-84.04492167
9	286	174	72	31	32	9.934461667	-84.04492167
10	270	137	63	31	32	9.934461667	-84.04492167
11	276	158	65	32	32	9.93448	-84.04500167
12	336	206	66	32	33	9.93448	-84.04500167
13	318	188	65	32	33	9.934545	-84.04516
14	299	191	67	32	33	9.934545	-84.04516
15	274	156	48	32	33	9.934545	-84.04516
16	274	166	58	32	33	9.934545	-84.04516
Promedio	295	170	65	32	32		
Des.Est.	22.6	19.9	6.6	0.9	0.8		

Día 9 de marzo del 2012

Medición	R _L (15 m) [mcd/m ² /lx]	R _L (30 m) [mcd/m ² /lx]	Q _D [mcd/m ² /lx]	rH [%]	Ta [°C]	Latitud	Longitud
1	225	126	46	59	21	9.934501667	-84.04486833
2	276	157	64	59	21	9.934501667	-84.04486833
3	202	124	45	59	21	9.93449	-84.04486333
4	300	190	58	59	21	9.93449	-84.04486333
5	240	143	63	59	21	9.93449	-84.04486333
6	264	154	52	59	21	9.93449	-84.04486333
7	222	136	52	59	21	9.934501667	-84.04493667
8	229	136	49	59	21	9.934501667	-84.04493667
9	232	154	58	59	21	9.934501667	-84.04493667
10	253	165	45	59	21	9.934501667	-84.04493667
11	212	132	46	59	21	9.934501667	-84.04493667
12	274	180	50	59	21	9.934501667	-84.04493667
13	260	164	44	59	21	9.934501667	-84.04493667
14	254	154	61	59	21	9.934501667	-84.04493667
15	227	141	44	59	21	9.934501667	-84.04493667
16	271	174	50	59	21	9.934501667	-84.04493667
17	237	145	58	57	22	9.934825	-84.04584
18	260	152	60	57	22	9.934825	-84.04584
19	213	118	58	58	22	9.934825	-84.04584
20	191	110	62	58	22	9.934825	-84.04584
21	213	115	55	58	22	9.934825	-84.04584
22	231	131	55	58	22	9.934825	-84.04584
23	234	131	49	58	22	9.934825	-84.04584
24	204	124	54	58	22	9.934825	-84.04584
25	197	160	43	58	22	9.93483	-84.04585833
26	26	99	47	58	22	9.93483	-84.04585833
27	222	147	46	58	22	9.93483	-84.04585833
28	184	119	50	58	22	9.93483	-84.04585833
29	193	122	50	58	22	9.934835	-84.04588667
30	216	140	42	58	22	9.934835	-84.04588667
31	220	141	55	58	22	9.934835	-84.04588667
32	223	152	49	58	22	9.934835	-84.04588667
33	209	127	60	58	22	9.934835	-84.04588667
34	182	116	61	58	22	9.934835	-84.04588667
Promedio	223	141	52	58	22		
Des.Est.	45.0	20.8	6.5	0.6	0.5		