
Adaptación del ensayo de abrasión por vía húmeda para la evaluación de marcas viales: análisis de retrorreflexión y resistencia al deslizamiento

Verónica V. Mechura

LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP –
CIC PBA, UTN FRLP, Argentina
vmechura@frlp.utn.edu.ar

Carlos L. Colonna

Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la CIC PBA,
Argentina

María C. Ibañez

LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP –
CIC PBA, UTN FRLP, Argentina

H. Luis Delbono

LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP –
CIC PBA, UTN FRLP, Argentina

Ingenio Tecnológico

vol. 6, e050, 2024

Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

ISSN-E: 2618-4931

ingenio@frlp.utn.edu.ar

Recepción: 08 noviembre 2024

Aprobación: 02 diciembre 2024

Resumen: Actualmente, la industria vial demanda métodos efectivos para evaluar el comportamiento de las marcas viales bajo condiciones de servicio. Este estudio propone evaluar el desempeño de las marcas viales bajo condiciones de abrasión en medio húmedo mediante la adaptación de un ensayo simple utilizado para evaluar lechadas asfálticas y permite simular los efectos combinados del tránsito y el agua sobre las marcas viales. La metodología consiste en la aplicación de pinturas (base acuosa y solvente), con microesferas sembradas sobre chapas cincadas. Las muestras se someten a ciclos de abrasión en agua, y se evalúa la evolución de las propiedades como la retrorreflexión, resistencia al deslizamiento y el aspecto visual. Los resultados indican que este procedimiento permite evaluar de manera rápida la evolución de las propiedades de las marcas viales, ofreciendo una alternativa viable y complementaria a las pruebas de campo más complejas y costosas. Los análisis de retrorreflexión y resistencia al deslizamiento evidencian un deterioro predecible, comparable a los patrones observados en estas últimas. El ensayo propuesto ofrece una alternativa simple y accesible a laboratorios viales, para predecir el desempeño de las marcas viales frente a condiciones reales de servicio.

Palabras clave: marca vial, abrasión, retrorreflexión, resistencia al deslizamiento.

Abstract: Currently, the road industry demands effective methods to evaluate the performance of road markings under service conditions. This study proposes an evaluation of road markings' performance under wet abrasion conditions by adapting a simple test used for asphalt slurries, allowing the simulation of the combined effects of traffic and water on road markings. The methodology involves the application of paint (aqueous and solvent-based) with embedded microspheres on galvanized sheets. The samples are subjected to water abrasion cycles, and the evolution of properties such as retroreflection, slip resistance and visual appearance are evaluated. The results indicate that this procedure allows a rapid evaluation of the evolution of the road markings' properties, offering a viable and complementary alternative to more complex and expensive field tests. The retroreflection and slip resistance analyses demonstrate predictable deterioration patterns, comparable to those observed in field tests. The proposed test offers a straightforward and accessible alternative for road

laboratories to predict road markings' performance under real service conditions.

Keywords: road marking, abrasion, retroreflection, slip resistance.

INTRODUCCIÓN

Las marcas viales son elementos fundamentales para la seguridad de las carreteras, ya que proporcionan orientación visual tanto de día como de noche. Un aspecto clave para la visibilidad nocturna es la retrorreflexión, que mejora significativamente la percepción de las marcas por parte de los conductores. Sin embargo, la exposición al tránsito y las condiciones climáticas provoca un deterioro gradual de estas marcas, lo que afecta su durabilidad y funcionalidad. La vida útil de una marca vial se define como el periodo desde su aplicación hasta que se vuelve ineficaz, ya sea por la pérdida de su retrorreflexión, desgaste superficial o pérdida de brillo (Migletz et al., 1994). En consecuencia, existen varias medidas que podrían utilizarse para definir la vida útil de la señalización vial, como la presencia de material (es decir, la durabilidad), cambio de color y visibilidad. En teoría, cualquier factor que altere estas tres propiedades podría influir directamente en la vida útil de las marcas viales.

La durabilidad de las marcas viales es una preocupación tanto para los responsables de la infraestructura vial como para los fabricantes de los materiales, quienes deben encontrar un equilibrio entre costos y desempeño. Por ejemplo, los administradores viales toman decisiones basadas en costos, rendimientos y otros factores, tales como el tipo y condición del pavimento, la capacidad de aplicar nuevos materiales sobre las marcas existentes, el nivel de servicio o la calidad de la señalización deseada para una carretera determinada, la ubicación geográfica, las condiciones climáticas y las actividades de mantenimiento del pavimento (Sasidharan et al., 2009). A nivel internacional también se considera el nivel de compuestos orgánicos volátiles (COV) con el fin de cumplir con las regulaciones ambientales vigentes en muchos países (Zhang et al., 2013).

Debido a las numerosas variables y la complejidad de un análisis exhaustivo, los investigadores no disponen de suficiente información para desarrollar pautas específicas sobre el uso de ciertos tipos de marcas viales para situaciones particulares (Cottrell et al., 2001). En este contexto, es necesario contar con métodos eficaces para evaluar el comportamiento de las marcas viales bajo condiciones reales de servicio. Existen dos enfoques principales para este tipo de evaluaciones: en Estados Unidos, los Departamentos de Transporte de varios estados realizan estudios mediante pruebas de campo, mientras que en Europa la investigación está mayormente a cargo de las empresas fabricantes de materiales de demarcación vial, utilizando simuladores de desgaste. Así, para evaluar la durabilidad de las marcas viales, se dispone de ensayos específicos, que van desde prueba de campo, como las establecidas en las normas ASTM D713/2012 (ASTM, 2017) y UNE-EN1824/2012 (UNE, 2012); hasta la aplicación de equipos de gran escala, denominados simuladores de desgaste según la Norma UNE-EN 13197/2012 (UNE, 2012). En estos métodos, la durabilidad se mide en “pasos de rueda” y los parámetros que se evalúan, según la normativa europea, son: la retrorreflexión (en húmedo, en seco y bajo lluvia), el coeficiente en iluminación difusa, el color y la resistencia al deslizamiento. En estudios realizados, se indica que los factores que han demostrado mayor influencia en el desgaste de las marcas viales son el tránsito (paso de ruedas) y la macrotextura del pavimento sobre el cual debe adherirse la marca (Ministerio de fomento, 2012).

En el caso de las pruebas de campo mencionadas, que son ampliamente utilizadas en Estados Unidos, autores como Carlson et al. (Carlson et al., 2013) destacan que, durante la planificación de la prueba es necesario tratar de reducir el número de variables para evitar la dispersión de los resultados. Como complemento de la norma ASTM D713, se emplea la norma ASTM D913 para evaluar el grado de resistencia al desgaste de las pinturas de demarcación vial que establece estándares fotográficos que permiten una evaluación comparativa.

Autores como Greyson et al. (Greyson et al., 2017) señalaron que las especificaciones que requieren datos de rendimiento mediante pruebas de campo, como las realizadas en las plataformas de prueba NTPEP (National Transportation Product Evaluation Program), pueden brindar a los formuladores la libertad para optimizar e innovar en los materiales. Sin embargo, una desventaja es la necesidad de un extenso trabajo y recursos para realizar pruebas de campo de todas las variaciones de formulación. Otro inconveniente de las pruebas de campo es que las pinturas viales y las microesferas de vidrio pueden especificarse por separado, aunque se ensayen juntas. Incluso cuando se limitan a una geografía determinada, las pinturas pueden proporcionar un rendimiento drásticamente diferente de un año a otro debido, por ejemplo, a la severidad del invierno. Así, una pintura podría aprobarse en función de su rendimiento durante un invierno muy ligero; y, una pintura de mejor calidad probada durante un año más desafiante podría fallar. Incluso, pueden ocurrir variaciones de un día a otro o de una semana a otra (en el caso de NTPEP) debido a las variaciones climáticas y las características del tránsito durante los primeros días de aplicación (por ejemplo, la diferencia en el tránsito durante los días de semana y los fines de semana). Este aspecto resalta la ventaja y la importancia de contar con métodos normalizados y de simple ejecución para comparar el desempeño de los materiales de demarcación.

En los últimos años, varios estudios han propuesto modelos de regresión para pronosticar el ciclo de vida de la retrorreflexión, utilizando métodos estadísticos basados en datos históricos recopilados en campos de prueba. Por ejemplo, Thamizharasan et al. (Thamizharasan et al., 2003) presentan patrones básicos de disminución o degradación de la retrorreflectividad a lo largo del tiempo teniendo en cuenta las marcas recién aplicadas y las que cuentan con más de 300 días de aplicación. En la Figura 1 se ilustra el patrón de tendencia de variación de retrorreflexión en el tiempo para marcas recién aplicadas y en el caso de materiales aplicados previamente. En este caso, inicialmente la retrorreflexión aumenta hasta un valor máximo debido al exceso de microesferas que cubren a las que están ancladas o por las que están poco ancladas y son removidas luego de la liberación del tránsito. Luego se produce una disminución con el paso del tiempo (Sarasua et al., 2003; Donnell et al., 2009). En cambio, en la degradación de las demarcaciones más antiguas (periodos mayores a 300 días), se representa por una línea recta que gradualmente disminuye con el tiempo. Si bien la tasa de degradación parece lineal para lecturas superiores a 50 o 60 $\text{mcd.lx}^{-1}\text{.m}^{-2}$, la pendiente se aplana a valores más bajos hasta volverse asintótica.

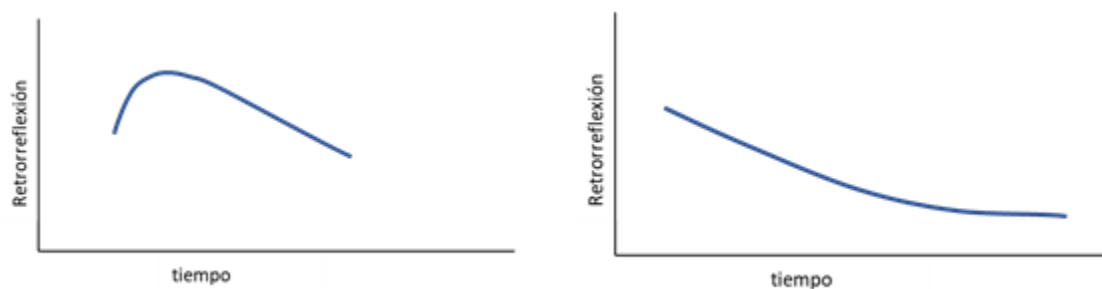


Figura 1.
Patrón representativo de marcas. Izq.: recién aplicadas. Der.: más de 300 días
(Sarasua et al., 2003; Donnell et al., 2009) adaptación propia

Este patrón indica que un modelo lineal podría ser suficiente para predecir la degradación en marcas más antiguas dado que la principal preocupación es asegurar que los valores de retrorreflectividad se mantengan por encima del umbral mínimo; que probablemente será de alrededor de 100 mcd.lx-1/m-2 para las rutas interestatales. Una vez que las marcas envejecen, la degradación se produce lentamente a un ritmo constante (Thamizharasan et al., 2003; Sarasua et al., 2003).

En resumen, las pruebas de campo generan una instalación y una condición de desgaste más realistas, pero pueden requerir un período de tiempo prolongado para alcanzar el nivel deseado de deterioro y poder estimar la vida útil. Donnell et al. (Donnell et al., 2009) señalan que el costo para el fabricante de participar en una evaluación de plataforma de prueba NTPEP es elevado para un solo producto de un color específico. Sin embargo, éstas han permitido obtener curvas de degradación de las marcas viales como referencia.

Por otro lado, el uso de simuladores de desgaste aporta una serie de importantes ventajas como el control de las condiciones climáticas, los pasos de neumáticos se aplican en poco tiempo, y las pruebas se realizan sin interrupción del tránsito, además de cuestiones de seguridad asociadas al proceso. En este caso, las pinturas de señalización se aplican sobre placas conformadas con mezcla asfáltica densa sobre una macrotextura determinada (Ministerio de fomento, 2012). Este método proporciona la ventaja de obtener una preclasificación de las marcas viales en un período de tiempo relativamente corto (inferior a las pruebas de campo) y, mediante un procedimiento estandarizado. El mismo cuenta con la principal desventaja de que existen pocos equipos disponibles a nivel mundial, por lo que presenta limitaciones económicas por el costo de construcción y logística por el traslado de las muestras para ensayo.

Si bien existen discrepancias en cuanto a los ensayos de laboratorio para evaluar la durabilidad, ya que ésta depende de las condiciones reales de aplicación y de factores externos, como el tipo de superficie o las condiciones climáticas de la zona geográfica; el Ministerio de Fomento (Ministerio de fomento, 2012) resalta que, aunque la durabilidad no siempre guarda una relación directa y constante con la vida útil de la marca aplicada en la carretera, si existe una relación directa entre la durabilidad y la vida útil. Esto permite comparar materiales en condiciones de servicio específicas. Por lo tanto, si se tienen dos marcas viales con distintas durabilidades, a la de mayor durabilidad le corresponde una mayor vida útil. Este es un aspecto relevante y que se toma como premisa en los estudios que se desarrollan en el presente trabajo.

En Argentina se dispone de las normas IRAM 1221 (IRAM, 2021) para marcas viales conformadas con pinturas y la IRAM 1212 (IRAM, 1971) utilizada para materiales termoplásticos, esta última vigente pero actualmente en estudio. Por su parte, Vialidad Nacional cuenta con especificaciones técnicas que establecen los requisitos de calidad de los materiales y la evaluación del desgaste a través de observaciones cualitativas, sin embargo, no existen requerimientos relativos a la durabilidad exigida mediante algún ensayo acelerado.

A pesar de los avances, sigue existiendo una necesidad evidente de métodos de evaluación accesibles y rápidos que puedan implementarse en laboratorios viales sin requerir grandes inversiones ni equipamientos complejos. En los últimos años, se vienen desarrollando tareas relacionadas con esta línea de investigación en el LEMaC Centro de investigaciones viales UTN FRLP CIC-PBA. En una primera experiencia realizada en la Tesis doctoral “Nuevas tecnologías en recubrimientos retrorreflectantes para demarcación vial” (Mechura, 2021) se establece un procedimiento inicial para el ensayo de abrasión por vía húmeda (Wet Track Abrasion Test- WTAT) utilizado tradicionalmente en lechadas asfálticas, para su aplicación en la evaluación de marcas viales.

En este trabajo se continúa con la línea de investigación, implementando el procedimiento de ensayo WTAT en pinturas acrílicas, tanto base acuosa como base solvente, con la adición de sus respectivas microesferas de sembrado. El desempeño de la marca vial se evalúa mediante la evolución de las propiedades esenciales: retrorreflexión, resistencia al deslizamiento y aspecto visual. A continuación, se describen los materiales y métodos empleados en la presente investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con base en la metodología de ensayo desarrollada en la tesis doctoral (Mechura, 2021), se realizan nuevas experiencias con el equipo de abrasión por vía húmeda utilizado en el ámbito vial para lechadas asfálticas, que se encuentra disponible en el LEMaC. En esta etapa, se seleccionan dos tipos de pinturas acrílicas de uso comercial en demarcación vial: una pintura acrílica estirenada base solvente (denominada P1) y una pintura acrílica pura base acuosa (denominada P2). Estas pinturas representan los sistemas más utilizados para vías de bajo volumen de tránsito en Argentina.

Para la evaluación de estas pinturas se aplican microesferas específicas para cada material, que garantizan las propiedades retrorreflectantes necesarias. En el caso de la pintura P1, se utilizan microesferas H-85 con un tratamiento de adherencia y flotación (TAF), adecuadas para base solvente. Para la pintura P2, se emplean microesferas con un tratamiento de Adherencia y Flotación (WBP) diseñadas para pinturas base acuosa.

METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN VÍA HÚMEDA

El equipo de ensayo empleado es un agitador mecánico, modelo Hobart-N50 utilizado para lechadas asfálticas según la norma ASTM D3910 (ASTM, 1990). Este consiste en una máquina de abrasión de eje vertical con doble movimiento, de rotación y circular de traslación. El extremo inferior del eje vertical contiene un cabezal con una manguera de goma que roza la probeta sumergida en agua. El equipo original cuenta con una bandeja de ensayo redonda pero se decide reemplazar la misma por una bandeja cuadrada de 30 cm de lado con un recorte en una esquina por una facilidad de adquisición de la chapa.

Para la confección de las muestras, se utilizan ocho chapas de acero cincado, de forma cuadrada y con un recorte en la esquina para facilitar su manipulación. Las muestras se preparan sobre cuatro de estas chapas, identificadas como M1, M2, M3 y M4, a las cuales se les aplica una capa de pintura base solvente (P1) y, posteriormente se realiza el sembrado de las microesferas mencionadas acorde al material. De manera similar, otras cinco chapas denominadas M5, M6, M7, M8 y M9 reciben una aplicación de pintura base acuosa (P2), realizándose la siembra de las microesferas correspondientes. En la Figura 2, se puede observar una muestra confeccionada para este ensayo.

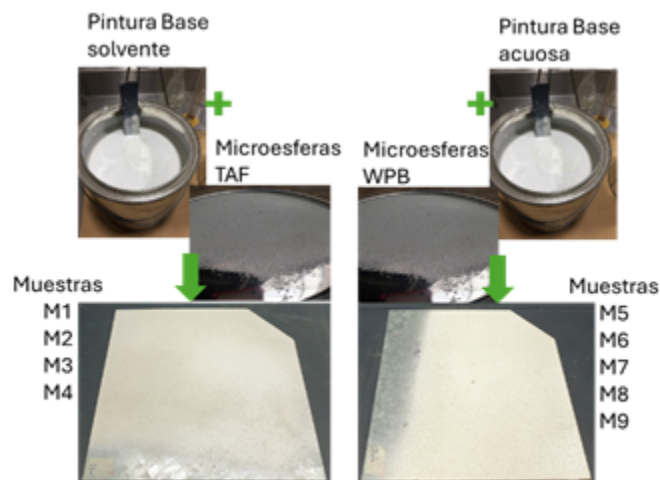


Figura 2.
Muestras para ensayo WTAT.
elaboración propia.

Una vez finalizada la preparación de las muestras, el procedimiento de ensayo se lleva a cabo de acuerdo con los pasos que se describen a continuación.

Paso 1: Se evalúan los parámetros iniciales de cada una de las muestras. Estos incluyen: resistencia al deslizamiento medida con el péndulo inglés TRRL, retrorreflexión, evaluada con un retrorreflectómetro portátil, observación de la superficie mediante una lupa con plantilla y aspecto visual en una cámara especialmente acondicionada. Los procedimientos específicos para obtener cada uno de estos parámetros se detallan al final de la descripción del ensayo.

Paso 2: La muestra se coloca en una bandeja con un baño de agua, manteniendo una lámina de por lo menos 6 mm de agua por encima, por un período de 1 hora.

Paso 3: Una vez transcurrido el tiempo, la muestra se coloca en el equipo de ensayo, Figura 3, y se la somete a un ciclo de abrasión a baja velocidad durante cinco minutos. Posteriormente, la muestra se retira de la bandeja y se lava cuidadosamente para eliminar cualquier residuo superficial.



Figura 3.
Agitador mecánico modelo Hobart N-50 con bandeja adaptada del LEMaC
Elaboración propia

Paso 4: Una vez finalizado el ciclo de ensayo, se vuelven a evaluar los parámetros mencionados inicialmente: retrorreflexión, resistencia al deslizamiento, observación con lupa y aspecto visual.

El procedimiento de ensayo y medición se repite tantas veces como se considere necesario. En nuestro caso, se realizaron tres ensayos de 5 minutos cada uno. A continuación, se describen los métodos empleados para la determinación de cada uno de los parámetros mencionados anteriormente:

Resistencia al deslizamiento: se utiliza el péndulo inglés TRRL, aplicando el procedimiento descrito en la Norma IRAM 1555/98 (IRAM, 1998) y NORMA UNE-EN 1436/09 (UNE, 2009) pero aplicado a marcas viales. Este equipo cuenta con un deslizador de goma que simula el contacto de los neumáticos con la superficie, proporcionando una medida del coeficiente de resistencia al deslizamiento en unidades SRT. En la Figura 4-A se muestra el equipo y la muestra en el momento de su calibración.

Retroreflexión (Figura 4-B): se utiliza un retrorreflectómetro portátil Mirolux Ultra 15 disponible en el Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (LAL CIC).

Evaluación del aspecto visual en una cabina: se utiliza una cabina especialmente preparada en el centro LEMaC, con dimensiones de 60 cm x 76 cm x 55 cm, cuyo interior está pintado en negro mate. Para la toma de imágenes bajo iluminación diurna, se emplean dos lámparas fluorescentes tubulares 26 mm (18w/765), ubicadas en la parte superior, replicando las condiciones de luz de día D65. Además, para capturar el efecto de las microesferas se toman fotografías utilizando el flash de la cámara, sin la iluminación de las lámparas. De esta forma, se obtienen dos fotografías: una con el flash activado y la lámpara apagada para observar el efecto de la retroreflexión; y otra con la lámpara encendida y sin flash, simulando las condiciones diurnas (Figura 4-C).

Observación con lupa: se utiliza una lupa binocular Olympus SZ61 perteneciente al LEMaC para analizar la distribución de las microesferas en la superficie de las muestras. Para garantizar la consistencia del análisis, se emplea una plantilla que delimita la zona de estudio, lo que permite centrar el análisis en áreas específicas a lo largo de las distintas etapas del ensayo. La distribución de las microesferas se evalúa mediante la perforación de la plantilla con un aumento de 4,5x que nos permite una apreciación más detallada (Figura 4-D).

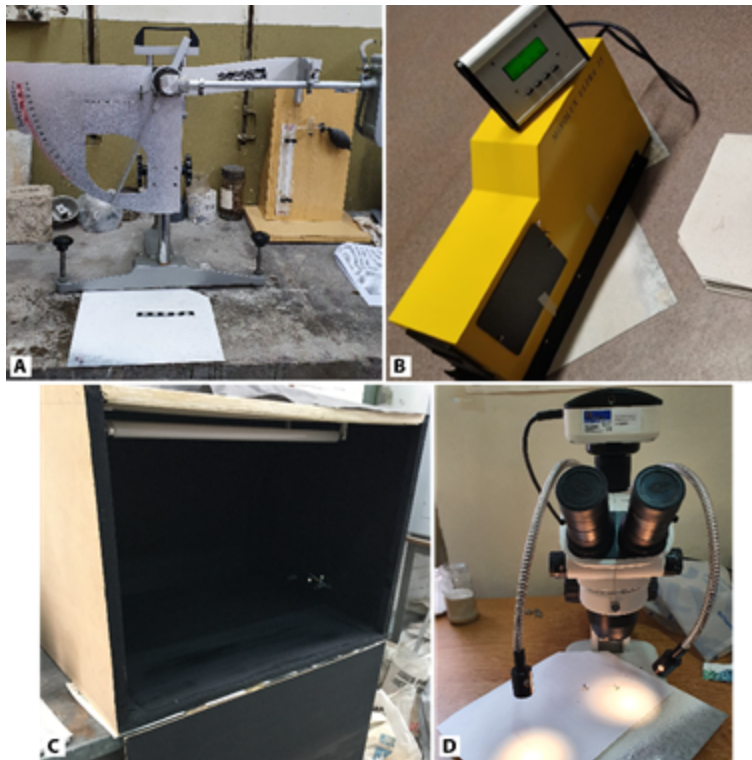


Figura 4.

A: péndulo ingles TRRL. B: Retroreflectómetro portátil. C: Cabina para evaluación del aspecto visual. D: Evaluación visual con lupa y plantilla.
elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, en la Figura 5 se presentan los resultados de resistencia al deslizamiento (SRT) medidos antes y después de cada ciclo de ensayo. Es importante destacar que, de las nueve probetas, se descarta la probeta M3 con pintura base solvente y la probeta M9 con pintura base acuosa, debido a que la chapa sufrió una deformación que afecta la evaluación con el equipo. Este aspecto evidencia la necesidad de utilizar chapas de mayor espesor para evitar este tipo de inconvenientes. Se utiliza como referencia el valor de 45 SRT que es límite inferior establecido en la NORMA UNE-EN 1436/09 (UNE, 2009).

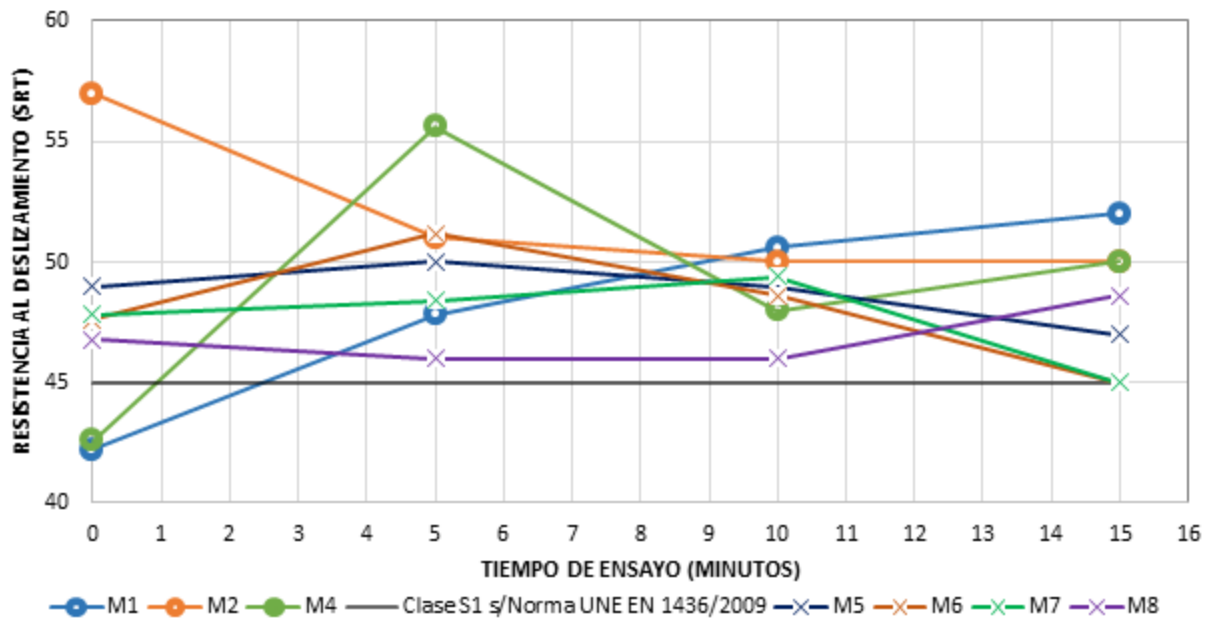


Figura 5
Resistencia al deslizamiento en cada instancia de ensayo.
elaboración propia.

En la Figura 5 se visualizan con forma anular los puntos de los valores en las muestras con las marcas viales conformada con la pintura base solvente P1. De ellas, la muestras M1 y M4 evidencian previo al ensayo, valores por debajo del valor mínimo recomendado de 45 SRT en la Norma UNE-EN 1436/2009 (UNE, 2009). Luego de haber realizado el primer ensayo, todas las muestras cumplen con este valor mínimo. El valor de la muestra M4 tiene un aumento de la resistencia al deslizamiento luego del primer ensayo y, posteriormente disminuye manteniéndose por encima del valor mínimo de 45 SRT.

Los valores de las muestras conformadas con pintura base acuosa P2 se representan con una cruz. En este caso, muestra un amplio rango de valores que se encuentra por encima del valor límite inferior de referencia mencionado (45 SRT). Se destaca el caso de la probeta M6, que presenta un aumento notable de la resistencia al deslizamiento luego del primer ensayo de abrasión, superando el valor de 50 SRT y luego disminuye a 45 SRT. En general se observa este comportamiento más atenuado en el resto de las probetas, salvo en el caso de la probeta M8 que luego de los 10 minutos de ensayo aumenta su valor de resistencia al deslizamiento.

A continuación, la Figura 6 muestra las imágenes obtenidas con la Lupa de la probeta M1 con pintura base solvente (P1) y, la Figura 7 las imágenes de la probeta M7 con pintura base acuosa (P2). Cada una de las imágenes refleja el estado de las probetas luego de cada instancia del ensayo de abrasión (WTAT). Así, en cada caso, la imagen A corresponde a la instancia antes del ensayo, la imagen B luego del primer ensayo de 5 minutos y así sucesivamente.

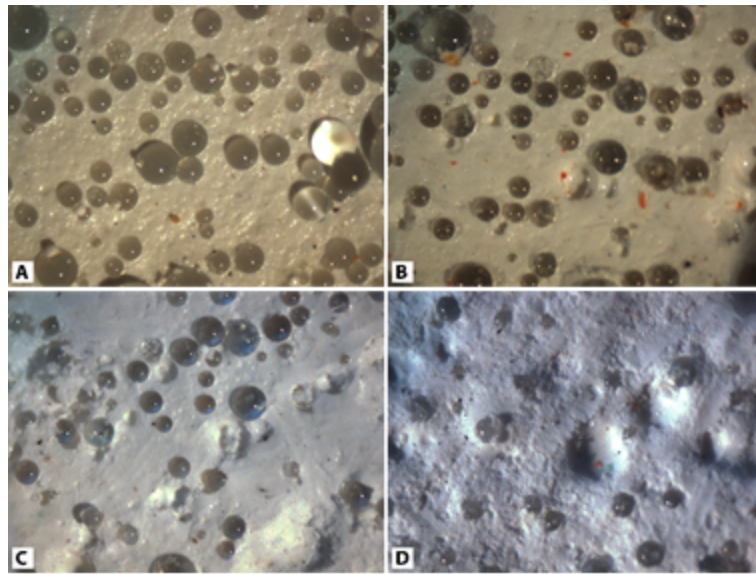


Figura 6.
Imagen en lupa de muestra M1 en distintas instancias de ensayo.
elaboración propia.

En la Figura 6-B se evidencia el deterioro luego del primer ensayo de la probeta M1, en la cual se desprendieron microesferas. En la Figura 6-D se observa que las microesferas se desprendieron casi por completo y podemos apreciar una microtextura más áspera en comparación con la Figura 6-A. Relacionado con los resultados de la Figura 5, la muestra M1 presenta un aumento de la resistencia al deslizamiento luego del ensayo de abrasión WTAT, aspecto que se condice con la textura observada en la Figura 6-D.

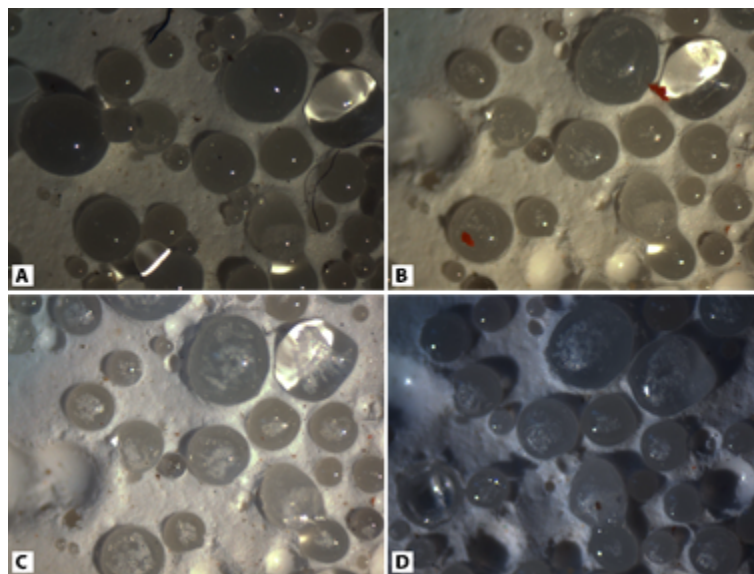


Figura 7.

Imagen en lupa de muestra M7 en distintas instancias de ensayo.
elaboración propia.

De la Figura 7, se observa que en el transcurso del ensayo se desprendieron microesferas, pero a diferencia del caso anterior, al finalizar el mismo continúa con presencia de las mismas. Analizando la superficie de la pintura, se observa que presenta una microtextura más pulida comparada con la muestra de la pintura base solvente (P1). Esto justifica la disminución observada de la resistencia al deslizamiento (Figura 5) luego del ensayo de abrasión WTAT.

En la Figura 8 se presentan las curvas con los valores de retrorreflexión obtenidos en los diferentes instantes del ensayo.

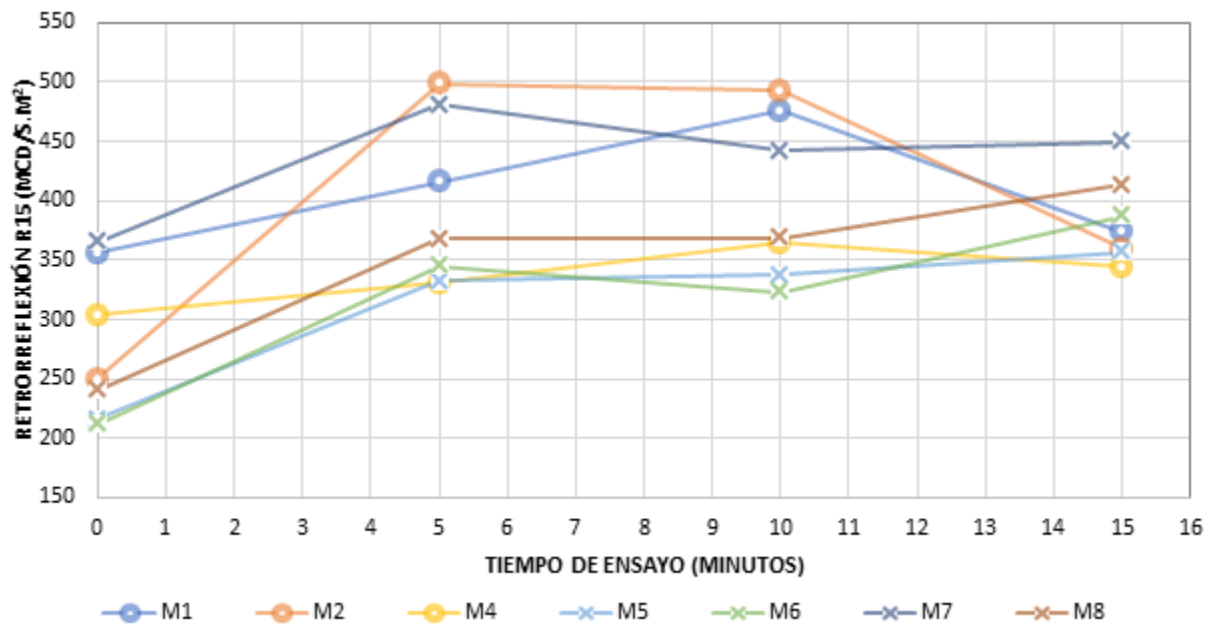


Figura 8.
Retroreflexión R15 en cada instancia de ensayo.
elaboración propia.

Analizando las muestras M1, M2 y M4, se observa que los valores de retrorreflexión muestran un comportamiento inicial ascendente en las muestras con pintura base solvente, atribuible al desprendimiento de microesferas menos adheridas. Este efecto es consistente con estudios previos que reportan un aumento inicial seguido de una disminución gradual de la retrorreflexión, como los de Thamizharasan et al. (Thamizharasan et al., 2003). Además, se condice con la observación en lupa de la probeta M1 (Figura 6), con la escasez de microesferas al final del ensayo es esperable que la retrorreflexión haya disminuido.

Por otro lado, para las marcas conformadas con la pintura P2 cuyos puntos se encuentran marcados con una cruz, se observa inicialmente un aumento más abrupto que luego desciende de forma leve. Este aumento inicial se debe a que luego de realizar el ensayo de abrasión las probetas van perdiendo algunas microesferas que generan interferencias con las otras, pero como se observa en la imagen en lupa (Figura 7), al finalizar el ensayo continúa adherida una gran cantidad de microesferas. Podríamos suponer, que en este caso podrían realizarse instancias adicionales de ensayo para observar la disminución de la retrorreflexión como en el caso de las pinturas base solvente.

A continuación, en la Figura 9 se presentan las imágenes tomadas en cabina de la probeta M1 con flash. A partir de los 10 minutos de ensayo se observa de forma notoria la disminución de la retrorreflexión en la zona de ensayo. Esto se encuentra relacionado con lo mencionado en la Figura 6 de la ausencia de microesferas, y en la Figura 8 en los valores obtenidos de retrorreflexión para la misma probeta.

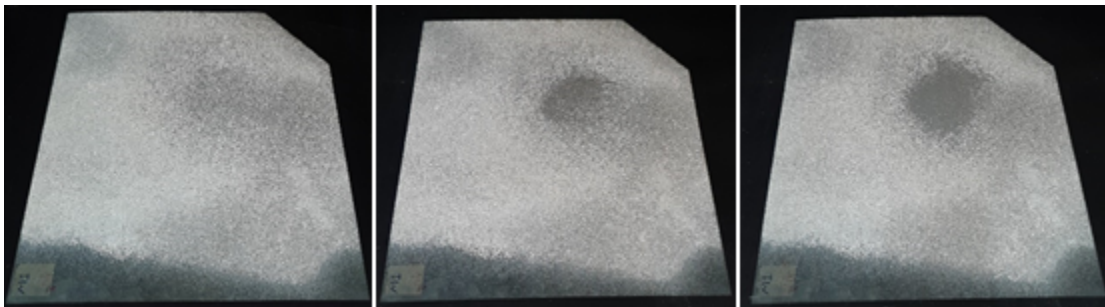


Figura 9.
Imágenes de la muestra M1 luego de cada instancia de ensayo.
elaboración propia.

A diferencia del caso anterior, en la Figura 10, se encuentra la fotografía de la muestra M7. En la misma se observa de forma más atenuada la disminución de retrorreflexión, en coincidencia con los resultados obtenidos en la evaluación (Figura 8) y con las imágenes visualizadas en la lupa (Figura 7).

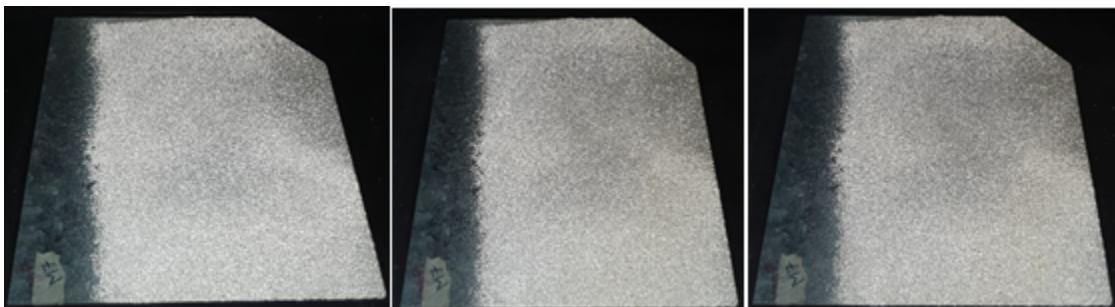


Figura 10.
Imágenes de la muestra M7 luego de cada instancia de ensayo.
elaboración propia.

El ensayo de abrasión por vía húmeda (WTAT) aplicado a las marcas viales ha demostrado ser una herramienta útil para evaluar el desempeño de estos materiales bajo condiciones controladas de desgaste en presencia de agua. Los resultados obtenidos revelan comportamientos diferenciados entre las pinturas base solvente y base acuosa en cuanto a la retrorreflexión y la resistencia al deslizamiento.

Los resultados de resistencia al deslizamiento muestran que las pinturas base solvente tienden a perder microesferas más rápidamente, lo cual genera una superficie más áspera y, en consecuencia, un incremento inicial en la resistencia al deslizamiento. Sin embargo, esta condición no se traduce en un beneficio sostenido a largo plazo, ya que el desprendimiento excesivo de microesferas reduce la retrorreflexión de manera significativa, limitando la funcionalidad nocturna de la señalización vial.

En contraste, las pinturas base acuosa presentaron un desprendimiento de microesferas más moderado, lo que resultó en un mantenimiento más uniforme de la retrorreflexión a lo largo de las pruebas. Esta tendencia puede atribuirse a la mayor adherencia de las microesferas al sustrato.

El análisis visual a través de lupa y las imágenes obtenidas en la cabina confirman estos hallazgos. Las superficies más ásperas de las pinturas base solvente evidencian un desgaste más agresivo y heterogéneo, mientras que las superficies de pintura base acuosa muestran un desgaste más uniforme y controlado.

Es importante destacar que el método WTAT, si bien no sustituye las pruebas de campo, proporciona una aproximación rápida y económica para predecir el comportamiento de las marcas viales bajo condiciones de abrasión húmeda. Los resultados obtenidos son comparables con los patrones de desgaste observados en estudios de campo, como los reportados por Thamizharasan et al. (Thamizharasan et al, 2003), lo que respalda la validez del método como herramienta de evaluación preliminar.

CONCLUSIONES

Con el ensayo WTAT aplicado a marcas viales se obtienen resultados de forma rápida que permiten evaluar la evolución y el comportamiento de la retrorreflexión y la resistencia al deslizamiento en el tiempo considerando el efecto de la abrasión en húmedo.

En el caso de las marcas de pintura base solvente, las microesferas se desprenden en mayor cantidad por este efecto de abrasión evidenciando una microtextura más áspera en la superficie de la pintura luego del desprendimiento de las microesferas. Por otro lado, en el caso de la pintura base acuosa se evidencia una microtextura más pulida en la superficie de pintura, pero con un menor desprendimiento de microesferas en la cantidad de ensayos realizados. Estos datos de observación por lupa fueron relacionados con los valores obtenidos de resistencia al deslizamiento.

Con respecto a los análisis de retrorreflexión, es posible comparar el comportamiento en el tiempo con patrones del deterioro realizados por otros autores. Además, este comportamiento es relacionado con imágenes tomadas en una cabina para comparar el aspecto visual.

Como conclusión general, el ensayo implementado resulta de fácil acceso a laboratorios viales y es posible obtener una respuesta rápida que permite estimar el comportamiento de una marca vial frente a la acción del agua y efectos del tránsito.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (LAL CIC) por las mediciones de retrorreflexión de las muestras y a Omar Rodríguez del centro CODAPLI de la UTN FRLP por colaborar en la materialización de la cabina de inspección visual adaptada a las necesidades viales.

Referencias bibliográficas

1. ASTM. (1990). *ASTM D3910: Standard practices for design, testing, and construction of slurry seal*.
2. ASTM. (2017). *ASTM D713: Standard practice for conducting road service tests on fluid traffic marking materials*.
3. Carlson, P., Park, E. S., Pike, A., Porter, R. J., Miles, J., Boulanger, B., & Ealding, W. (2013). *Pavement marking demonstration projects: State of Alaska and State of Tennessee* (No. FHWA-HRT-12-048). United States Federal Highway Administration, Office of Safety Research and Development. Recuperado de <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/26764>
4. Cottrell, B. H., & Hanson, R. A. (2001). *Determining the effectiveness of pavement marking materials* (No. FHWA/VTRC 01-R9). Virginia Transportation Research Council (VTRC). Recuperado de <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/19526>
5. Donnell, E. T., Chehab, G. R., Tang, X., & Schall, D. (2009). Exploratory analysis of accelerated wear testing to evaluate performance of pavement markings. *Transportation Research Record*, 2107(1), 76-84. <https://doi.org/10.3141/2107-09>
6. Greyson, E., Metla, D., Gallagher, J., & Schall, D. (2017). Modernizing and streamlining waterborne traffic paint specifications. *Transportation Research Record*, 2612(1), 104-112. <https://doi.org/10.3141/2612-14>
7. Migletz, J., Fish, J. K., & Graham, J. L. (1994). *Roadway delineation practices handbook*. Graham-Migletz Enterprises, Inc. Report No. FHWA-SA-93-001. Recuperado de <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/3639>
8. Ministerio de Fomento. (2012). *Guía para el proyecto y ejecución de obras de señalización horizontal*. Editorial Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento.
9. Mechura, V. V. (2021). *Nuevas tecnologías en recubrimientos retrorreflectantes para demarcación vial* [Tesis doctoral, UTN FRLP, Buenos Aires, Argentina]. Recuperado de <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/5919>
10. IRAM. (1998). *Norma IRAM 1555: Agregados. Determinación del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo TRRL*.
11. IRAM. (2021). *Norma IRAM 1221: Recubrimientos para demarcación de pavimentos. Pintura vial retrorreflectante y no retrorreflectante*.
12. IRAM. (1971). *Norma IRAM 1212: Recubrimientos para demarcación de pavimentos. Recubrimientos termoplásticos*.
13. Sarasua, W. A., Clarke, D. B., & Davis, W. J. (2003). *Evaluation of interstate pavement marking retroreflectivity* (No. FHWA-SC-03-01).
14. Sasidharan, L., Karwa, V., & Donnell, E. T. (2009). Use of pavement marking degradation models to develop a pavement marking management system. *Public Works Management & Policy*, 14(2), 148-173. <https://doi.org/10.1177/1087724X08329169>
15. Thamizharasan, A., Sarasua, W. A., Clarke, D. B., & Davis, W. J. (2003, January). A methodology for estimating the lifecycle of interstate highway pavement marking retroreflectivity. In *82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board of the National Academies*, Washington, DC.
16. UNE. (2009). *Norma UNE EN 1436: Materiales para señalización vial horizontal. Comportamiento de las marcas viales aplicadas sobre la calzada*.

17. UNE. (2012). *Norma UNE-EN 1824: Materiales para señalización vial horizontal. Pruebas de campo.*
18. UNE. (2012). *Norma UNE-EN 13197: Materiales para señalización vial horizontal. Simulador de desgaste. Mesa giratoria.*
19. Zhang, G., Hummer, J. E., Rasdorf, W., & Mastin, N. (2013). The impact of pavement type and roughness on paint marking retroreflectivity. *PublicWorks Management & Policy*, 18(1), 41-55. <https://doi.org/10.1177/1087724X13480280>

AmeliCA

Disponible en:

<https://portal.amelica.org/ameli/journal/266/2664941005/2664941005.pdf>

Cómo citar el artículo

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista en portal.amelica.org

AmeliCA

Ciencia Abierta para el Bien Común

Verónica V. Mechura, Carlos L. Colonna, María C. Ibañez,
H. Luis Delbono

**Adaptación del ensayo de abrasión por vía húmeda para
la evaluación de marcas viales: análisis de retroreflexión
y resistencia al deslizamiento**

Ingenio Tecnológico

vol. 6, e050, 2024

Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

ingenio@frlp.utn.edu.ar

ISSN-E: 2618-4931



CC BY-NC-SA 4.0 LEGAL CODE

**Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-
CompartirIgual 4.0 Internacional.**