

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH ARTICLE

<https://dx.doi.org/10.14482/inde.40.02.621.829>

# Ensayo de pulimento acelerado en pinturas de demarcación vial y su relación con la absorción de agua

*Accelerated polishing test in road marking paint and its connection with water absorption*

VERÓNICA VANESA MECHURA \*

HÉCTOR LUIS DELBONO \*\*

JOSÉ JULIÁN RIVERA \*\*\*

\* Doctora en Ingeniería mención Materiales, LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP - CIC PBA, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, La Plata (1900), Bs. As., Argentina. Teléfono: 0221-489-0413. [vmechura@frlp.utn.edu.ar](mailto:vmechura@frlp.utn.edu.ar) Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-5884-8501>

\*\* Doctor en Ingeniería mención Materiales, LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP - CIC PBA, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, La Plata (1900), Bs. As., Argentina. Teléfono: 0221-489-0413. [hdelbono@frlp.utn.edu.ar](mailto:hdelbono@frlp.utn.edu.ar) Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-2601-3470>

\*\*\* Doctor en Ingeniería mención Materiales, LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP - CIC PBA, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, La Plata (1900), Bs. As., Argentina. Teléfono: 0221-489-0413. [jrivera@frlp.utn.edu.ar](mailto:jrivera@frlp.utn.edu.ar) Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-7391-4469>

**Correspondencia:** Verónica Vanesa Mechura, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata. Av. 60 y 124 S/N, La Plata (1900), Bs. As., Argentina. Teléfono: +54 (0221) 489-0413.



## Resumen

La durabilidad de los materiales de demarcación vial se evalúa con ensayos que van desde pruebas de campo a equipos de gran escala. Estos requieren de un tiempo de ensayo considerable para obtener el resultado o de dispositivos costosos. Para evaluar la abrasión se utilizan métodos del ámbito de pinturas en general, que presentan una falencia en la evaluación en servicio relacionada con el comportamiento ante la presencia de agua. Este aspecto genera el interés de adaptar el ensayo de Pulimento Acelerado de Áridos con la finalidad de evaluar el desgaste mediante pérdida de peso de las pinturas. Al ser un equipo utilizado en el ámbito vial, facilita la generalización de su utilización en laboratorios viales de control de calidad. Los valores resultantes se contrastan con los obtenidos en el ensayo Taber Abraser y en una prueba en servicio realizada con este fin. Adicionalmente, se implementa la absorción en agua como parámetro adicional. Finalmente, se destaca que la adaptación del ensayo de pulimento acelerado permite tener una estimación del comportamiento en servicio, con la ventaja de poder ensayar varias muestras simultáneamente bajo las mismas condiciones, encontrando que la absorción de agua está relacionada con los resultados obtenidos.

**Palabras claves:** Abrasión, absorción, demarcación vial, pinturas, pulimento acelerado.

## Abstract

The durability of road marking materials is evaluated with tests ranging from field tests, to ones that employ large-scale equipment. These require either significant testing periods or enormous investments. To evaluate abrasion, methods from the general field of paints are used, which presents a shortcoming in the evaluation related to the behavior in the presence of water. This aspect generates an interest in adapting the Aggregate Accelerated Polishing test to evaluate the wear through a weight loss in the paints. Given that this equipment is used in roads, it enabled its use in road quality control laboratories. The resulting values are contrasted with those obtained in the Taber Abraser test and an in-service test carried out for this purpose. Additionally, absorption in water is implemented as an additional parameter. Finally, it is highlighted that adopting the accelerated polishing test allows having an estimation of the behavior in service, with the advantage of being able to test several samples, simultaneously, under the same conditions, finding that the absorption of water is related to the results.

**Keywords:** Abrasion, absorption, accelerated polishing, paints, road marking.

## INTRODUCCIÓN

Las marcas viales cumplen un rol fundamental sobre los caminos, ya sean urbanos o rurales, debido a que son las encargadas de brindar seguridad al conductor. Las mismas permiten mantener el vehículo dentro del carril del tránsito y planear la tarea de conducción hacia adelante. Por este motivo, la falta de señalización, o su deterioro, tienen repercusión directa e inmediata en la circulación de los vehículos, convirtiéndose en un factor determinante en la seguridad vial [1].

Las marcas viales se obtienen al combinar los materiales base, ya sea pintura, termoplástico o plástico en frío, con microesferas de premezcla y de sembrado. Los materiales base se diferencian, según su modo de aplicación, por cómo impactan en el medio ambiente y en la salud de las personas, y en cuanto a su durabilidad.

Las pinturas contemporáneas con base solvente se formulan mediante resinas acrílicas que se disuelven en solventes orgánicos como ésteres o cetonas. Después de su aplicación, la evaporación del solvente hace que el polímero se solidifique y, por lo tanto, la película se forme mediante un fenómeno puramente físico. El solvente sirve solo para hacer que la pintura sea líquida y luego escapa a la atmósfera como COV (compuesto orgánico volátil) [2]. En cambio, en las pinturas con base acuosa el mecanismo de formación de la película se produce por coalescencia. En este caso, cada polímero en emulsión precisa de una temperatura determinada, denominada temperatura mínima de formación de *film* (TMFF), para formar una película uniforme y homogénea. En diversas regiones, como parte del movimiento mundial para limitar las emisiones de COV y de residuos peligrosos, con el objeto de minimizar los efectos en la salud humana y buscar un mejor desempeño, las pinturas con base solvente lentamente están reemplazándose por las pinturas con base acuosa [3], [4].

Desafortunadamente, hay pocos lineamientos que sugieren el tipo de material que conviene utilizar y, a menudo, se selecciona por su costo inicial. Este aspecto puede terminar en una falla de durabilidad, mala retrorreflectividad y aumento de los costos a largo plazo [5].

Las marcas en el pavimento inadecuadas y mal mantenidas son consideradas como uno de los mayores factores que contribuyen a los accidentes automovilísticos. Es esencial para aplicar la señalización del pavimento, disponer del material adecuado para todas las condiciones climáticas, con el fin de aumentar la seguridad pública y reducir los siniestros de los vehículos [6]. Si bien es importante la inversión en el mantenimiento de las rutas, incluido el mantenimiento de la señalización horizontal, se ha demostrado que el aumento de la inversión en mantenimiento resulta más eficaz si va acompañada de un apoyo regulatorio, ya sea sancionador o limitador [7], [8].

Las características principales que deben cumplir los materiales utilizados para la demarcación vial horizontal adaptadas a la condición en servicio son:

1. Resistencia a la abrasión: se considera la condición de pavimento seco y de pavimento húmedo debido a la lluvia.
2. Resistencia a las agresiones de la intemperie: tales como el sol (no debe degradarse con los rayos ultravioleta), la lluvia y la reacción del propio sustrato.
3. Resistentes al agua y con baja absorción: la película de pintura va a estar en contacto en forma alternada a ciclos de humectación y secado. En estas condiciones no debe manifestarse pérdida de adhesión, ablandamiento o elevada retención (hinchamiento). Esta propiedad está relacionada con la cantidad de agua que resulta absorbida en los espacios intermoleculares del polímero, en todas las interfases presentes en el sistema, poros y discontinuidades, para que la película permanezca en condiciones de equilibrio.
4. Visibles de día e identificables a una distancia determinada de seguridad: tanto de día, de noche y bajo cualquier condición climática, sin comprometer las propiedades antideslizantes de la superficie [9].
5. Buena adherencia seca y húmeda de la película con el sustrato: la adhesión de la película resulta sensiblemente menor en condiciones húmedas ya que el agua en la interfase, por su característica polar y de reducido tamaño, compite con el material polimérico. Es importante que la marca ofrezca un correcto *grip* (agarre) sobre el pavimento en que está situada.

Cualquier marca en el pavimento se deteriora gradualmente con el tiempo y la exposición al tránsito y al clima. A menudo, se define como vida útil de una marca al tiempo entre la aplicación y el momento en que se debe reemplazar la misma. Por lo tanto, la vida útil depende del grado de deterioro aceptable antes de que sea necesario su reemplazo. De acuerdo con el Manual de Delineación de Carreteras de la FHWA (*Federal Highway Administration*) de Estados Unidos, la vida útil de las marcas viales se define como “...el tiempo necesario para que una marca vial se vuelva ineficaz debido a la pérdida de su brillo, su retrorreflexión o se haya desgastado completamente del pavimento...” [10]. En consecuencia, existen varias medidas que podrían usarse para definir la vida útil de la señalización vial, por ejemplo, presencia de material (relacionado con la durabilidad), cambio de color y visibilidad. En teoría, cualquier factor que modifique estas tres propiedades podría influir directamente en la vida útil de las marcas viales.

El enfoque de este trabajo, que surge de una tesis doctoral denominada “Nuevas Tecnologías en Recubrimientos Retrorreflectantes para Demarcación Vial” [8], se orienta hacia el estudio de la durabilidad del material de base considerando la resistencia

a la abrasión al tránsito en condiciones húmedas. Para profundizar en la temática se estudian las distintas tecnologías utilizadas a nivel internacional para evaluar los materiales. En algunos países, se utiliza el “ensayo de referencia” sin norma de aplicación; este ensayo consiste en aplicar el material en un tramo de ruta y observar su evolución en el tiempo.

En otros casos, para evaluar la durabilidad de los materiales de demarcación vial, existen ensayos exclusivos, que van desde pruebas de campo (por ejemplo, según Norma UNE EN 1824/2012 [11]) a la aplicación de equipos de gran escala, denominados simuladores de desgaste (por ejemplo, según Norma UNE EN 13197/2012 [12]). Dichos métodos requieren un período de tiempo de ensayo considerable para obtener el resultado [3] o de dispositivos costosos. También suelen emplearse métodos de abrasión para pinturas en general, que no tienen en cuenta las condiciones específicas de servicio a las que se encuentran sometidos los materiales de demarcación horizontal. En Argentina, la evaluación de la abrasión se realiza mediante la Norma IRAM 1221/2018 [13], que estima el comportamiento de la película seca mediante la caída de un abrasivo.

En Europa, en cambio, se plantean dos ensayos de abrasión según la naturaleza del material a ensayar y si contienen microesferas de vidrio premezcladas. Se puede optar, así, por el método de Caída de un Abrasivo (según Norma UNE 135203-2/10 [14]) o por el Método Taber (según Norma UNE 135203-1/10 [15]). Al utilizar este último método, algunos autores [2] que compararon la resistencia a la abrasión de pinturas acrílicas con base solvente y con base acuosa, encontraron un excelente comportamiento y una menor pérdida de peso por abrasión en éstas últimas en relación con las pinturas con base solvente. También destacan que los tiempos medidos de resistencia al secado y al lavado, en las pinturas con base de agua, resultan adecuados en condiciones favorables; aunque existe la advertencia del riesgo de lavado en caso de lluvia repentina en condiciones de baja temperatura y alta humedad. Este último aspecto, pone en evidencia que es adecuado analizar la abrasión de los materiales con el efecto del agua para considerar la condición de servicio [8]. Se sabe que el agua es un plastificante del polímero que reduce la resistencia mecánica del film debido a que la misma degrada sus propiedades.

El problema planteado pone en evidencia que es necesario realizar un análisis más exhaustivo de los materiales para conocer su comportamiento en condiciones de servicio. Por ello, se estudia el desarrollo de procedimientos, de costo accesible y sencilla ejecución, basados en la utilización de equipos de uso vial, que sean capaces de predecir en laboratorio el comportamiento de las distintas pinturas cuando se vean sometidas al tránsito y, facilitar la normalización y la generación de su utilización en otros laboratorios de control de calidad, universidades y centros. De esta forma se plantea la adaptación del equipo que se emplea en el ensayo de Pulimento Acelerado

de Áridos para evaluar la resistencia de los áridos. Resulta necesario reestructurar el mecanismo de ensayo para el análisis de la pérdida de peso y que el mismo pueda reproducir de forma controlada y en un período de tiempo razonable de tiempo, el desgaste por abrasión en pinturas de demarcación vial cuando son sometidas a la acción del tránsito y la lluvia [8]. Además, resulta interesante evaluar la absorción de agua en la película pintura.

## METODOLOGÍA Y MATERIALES

Se propone la adaptación del ensayo de Pulimento Acelerado de Áridos para la evaluación del desgaste producido en el servicio para distintas pinturas, mediante la medición de su pérdida de peso, parámetro importante a ser considerado en las pinturas viales. Sus resultados fueron comparados con las pérdidas de peso por abrasión mediante el ensayo Taber Abraser, utilizado en el ámbito de los materiales de demarcación en otros países.

Con la finalidad de poner en evidencia las fallas en servicio de las marcas viales y de interpretar los resultados obtenidos de los ensayos implementados, se realizó una prueba de campo con la aplicación de las pinturas utilizadas en el laboratorio sobre la senda peatonal de una avenida. Finalmente, se incorporó el ensayo de absorción con la finalidad de poner en evidencia el efecto del agua en los recubrimientos.

### Materiales

En el marco del desarrollo del trabajo se estudiaron cuatro pinturas acrílicas. En todos los casos los materiales evaluados se encuentran comercialmente disponibles y son de color blanco. Las denominaciones de las pinturas son: M1, M2, M3 y M4. De éstas, la pintura M1 es una pintura acrílica estirenada con base acuosa, las pinturas M2 y M3 son pinturas acrílicas puras, también con base acuosa, y la pintura M4 es una acrílica estirenada con base solvente.

### Equipo de Pulimento Acelerado

Se empleó el equipo denominado Pulimento Acelerado de Áridos (a partir de ahora, Pulimento Acelerado), que se utiliza para caracterizar la calidad de los áridos en las capas de rodadura y se encuentra enmarcado en la Norma IRAM 1543/2002 [16].

En la figura 1 se muestra el equipo implementado que cuenta con una rueda de ensayo de caucho maciza que gira a una velocidad de 343 vueltas/min, sobre cuya periferia lisa y plana se fijan 14 probetas para conformar una superficie continua de rodadura sobre la que apoya y circula la rueda de caucho. Durante el ensayo, se utilizó un dispositivo

para la alimentación de agua, que consistió en un recipiente cilíndrico transparente con boca ancha, provisto de una tapa sifónica. Dicho recipiente iba situado en un soporte superior y a una altura constante, respecto al punto de entrada del agua en la zona de alimentación sobre la rueda de ensayo. El agua desembocó desde el depósito en un compartimento solidario con la rampa del abrasivo (no utilizado en este caso).



Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 1.** EQUIPO DE PULIMENTO ACELERADO DE ÁRIDOS DEL LEMAC.

Para la confección de las muestras se utilizaron moldes metálicos. Las probetas tenían la superficie curvada según el arco de círculo de 406 mm a lo largo de su dimensión mayor y en la dirección más corta tenían la superficie plana.

A partir de la sistemática de ensayo adoptada se realizaron diferentes pruebas con distintos productos para generar el sustrato de las pinturas. Estas pruebas indicaron que el sustrato óptimo se obtiene al utilizar resinas epoxídicas en gel.

Sobre el sustrato cuyo peso registrado es  $P_0$  se aplicaron las pinturas en estudio y se colocaron en ambiente a 25°C por un período de 24 horas. Luego se acondicionaron

en una cámara a 40°C durante 7 días. Para la evaluación de los pesos de las muestras se utilizó una balanza Ohaus Pioneer de precisión 0,0001 g.

Una vez finalizado el tiempo de curado se registró el peso  $P_1$  y se procedió a tomar las imágenes de cada una de las muestras en la cabina portátil de inspección visual implementada para tal fin. La misma estuvo conformada por un caño que, en su extremo superior, tiene un orificio para capturar las imágenes y una linterna que ilumina las muestras y, en el extremo inferior, presenta una tapa con un recorte cuadrado de 10 cm x 10 cm, realizado para observar las muestras. Bajo dicho recorte, se utilizó una plantilla para colocar las distintas muestras en la misma posición al momento de la captura de las imágenes. A continuación, se colocaron las probetas en la rueda de ensayo, Figura 2, y luego de apoyar la rueda de caucho sobre las muestras, se procedió a ensayar las mismas por un período de 4 horas.



Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 2.** DETALLE DE APOYO DE RUEDA DE CAUCHO SOBRE LAS MUESTRAS

Finalizado el ensayo, se retiraron las muestras y se lavaron superficialmente. Luego se colocaron en la cámara mencionada a 40°C por 24 horas y se registró el peso  $P_2$ . Por último, se calculó la pérdida de peso ( $PP$ ) en gramos correspondiente a 4 horas de ensayo según la Ecuación 1 [8].

$$PP = (P_1 - P_2) \quad (1)$$



Los resultados fueron presentados en miligramos con el fin de compararlos con los resultados del Taber Abraser. Luego, para expresar los resultados de la pérdida de peso de los materiales, se recurrió a la estadística mediante el cálculo del promedio y su desviación estándar.

### Ensayo Taber Abraser

Se evaluó la resistencia a la abrasión mediante la utilización del Taber Abraser con 2 ruedas abrasivas CS-10 y cargas de 500 g en cada una de ellas. Para el ensayo se utilizaron chapas de 10 cm de lado sobre las que se aplicaron cada una de las pinturas en estudio. Las muestras se mantuvieron 24 horas en condiciones de 25°C y luego se colocaron en una estufa a 40°C durante 7 días previo al ensayo. Los ciclos y la determinación de los valores se realizan siguiendo los lineamientos de la Norma UNE 135203-1/2010 [15].

### Prueba de los materiales en servicio

Se aplicaron las pinturas sobre una avenida en la ciudad de Berisso, Argentina; se colocaron con personal y equipo específico para demarcación vial (por disponibilidad al momento de realizar el trabajo sólo fue posible hacer la prueba con las pinturas M<sub>3</sub> y M<sub>4</sub>). Se aplicó en un sentido de circulación (Berisso-La Plata) la pintura M<sub>4</sub> y, en otro sentido (La Plata- Berisso) la pintura M<sub>3</sub>. Ambas aplicaciones se realizaron por pulverización y se sembraron microesferas con un dispositivo regador. Con el fin de observar el comportamiento de los materiales se tomaron imágenes comparativas en distintas líneas de tiempo. Además, se recopilaron los valores de las condiciones ambientales obtenidos de la Estación Meteorológica Ambiental (EMA) de la UTN FRLP que se encuentra en cercanías de la obra, considerando el primer mes luego de aplicado el material y se estimó el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) de la avenida.

### Absorción de agua

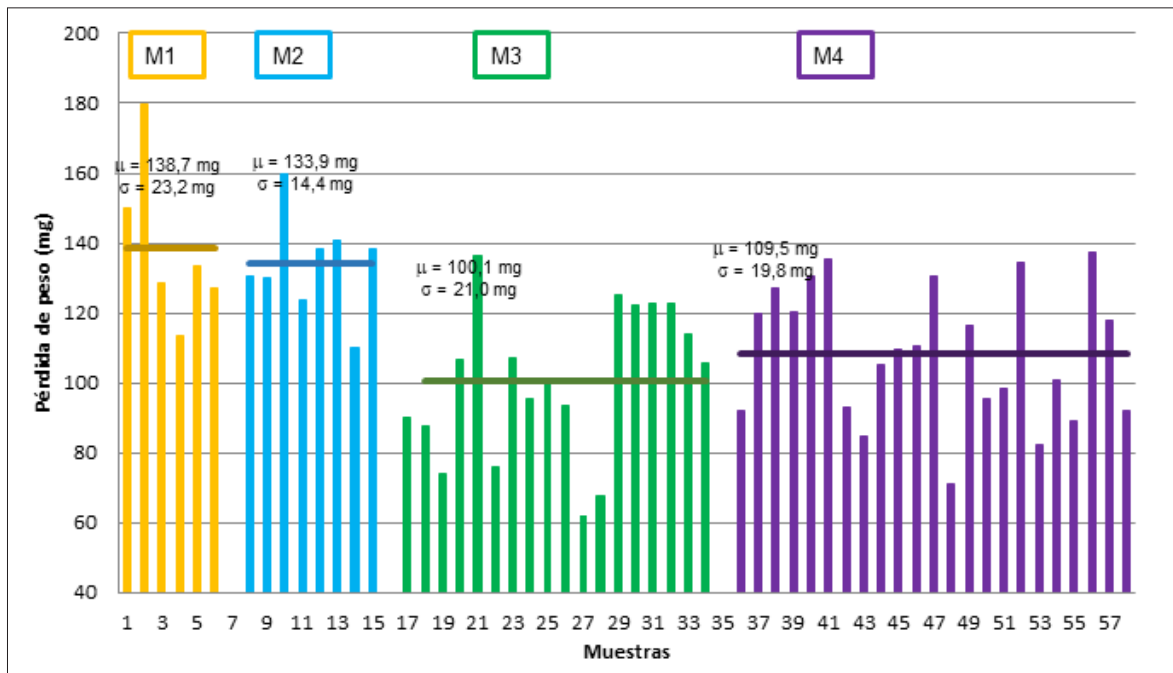
El procedimiento consistió en aplicar la película de pintura sobre una superficie que le permitiera independizarla del sustrato utilizado. Luego, se dejó secar por 24 horas en una cámara con recirculación de aire a 40°C. Se obtuvo así el peso  $P_3$  de la película de pintura y se sumergió la muestra en un recipiente con agua destilada por 24 horas. Se retiró, se secó cuidadosamente con un papel de filtro y se pesó para obtener  $P_4$  del polímero con agua absorbida. El cálculo de la absorción ( $A$ ) se realizó según la Ecuación 2 [17].

$$A(\%) = \frac{(P_4 - P_3)}{P_3} \times 100 \quad (2)$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Pulimento Acelerado

La figura 3 presenta el gráfico con los resultados de pérdida de peso (mg) obtenidos con el equipo de Pulimento Acelerado sobre las muestras ensayadas de las pinturas M1, M2, M3 y M4.



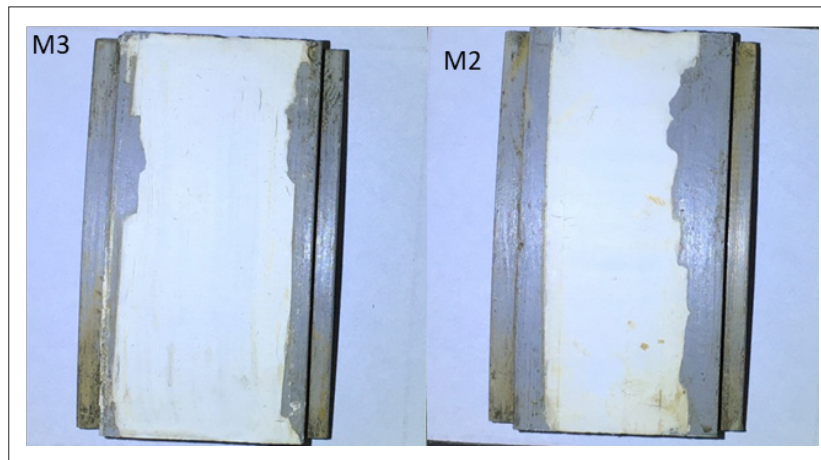
Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 3.** VARIACIÓN DE LA PÉRDIDA DE PESO DE PINTURA LUEGO DEL ENSAYO DE PULIMENTO ACCELERADO EN LAS MUESTRAS ENSAYADAS

Además, la figura 3 evidencia la diferencia de pérdida de peso promedio de cada uno de los materiales. La pintura M3 es la que presentó menor pérdida de peso por abrasión, con un valor promedio de 100,1 mg, mientras que la pintura M4 presentó una pérdida promedio de 109,5 mg. Por último, se encontraron las pinturas M1 y M2 con valores promedios de 138,7 mg en el caso de la primera y de 133,9 mg en la segunda. Es preciso aclarar que este último es un material recomendado para trabajos de repintado de marcas viales. Los valores obtenidos de pérdida de peso corresponden a 82.320 pasos de rueda sobre cada muestra, calculados luego de considerar el tiempo de ensayo y las características del equipo.

En el caso de la pintura M3, y en menor medida de la pintura M2, se observó que la película de pintura no tiene buena adherencia con el sustrato luego del ensayo. Para cuantificar esto, se evaluó la cantidad de muestras que presentan desprendimiento de pintura. Es necesario aclarar que los valores fueron descartados para la consideración de los promedios de pérdida de peso brindados. Se encontró que la pintura M3 se desprendió en un 41,6 % de los casos. Por otro lado, con la pintura M2 se realizaron menor cantidad de ensayos, pero se presentó desprendimiento en un 25 % de casos. La muestra M4 presentó desprendimiento de pintura en un 4,8 % de los casos. La pintura M1 en los ensayos realizados no presentó desprendimiento.

En la figura 4 se muestran imágenes, tomadas en condiciones controladas de iluminación, de las probetas pintadas con las pinturas M2 y M3, en las cuales se pudo observar la falla mencionada.

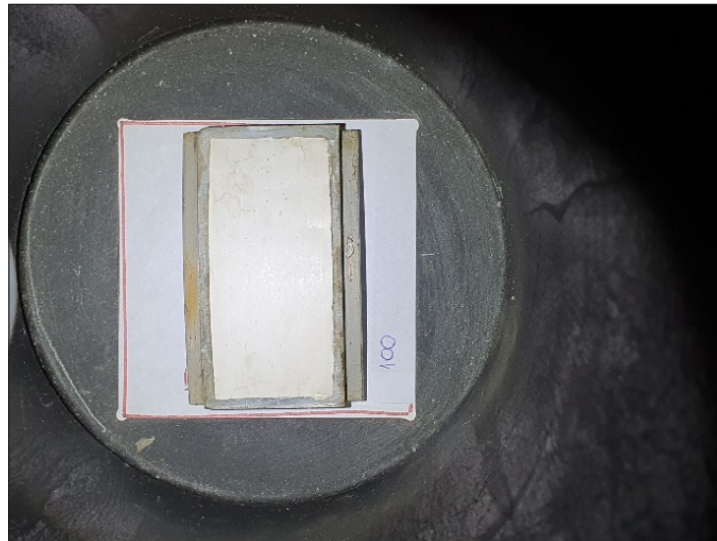


Fuente: elaboración propia.

FIGURA 4. MUESTRAS ENSAYADAS CON FALLA DE ADHERENCIA

Debido a que en este ensayo se pretendía evaluar el desgaste de los materiales por el paso del tránsito y el efecto del agua, se recomienda, en futuros trabajos, evaluar la adherencia con el sustrato en estudio y descartar los resultados en los que se observe esta falla en la zona de ensayo.

En la figura 5 se presenta la imagen de una probeta luego del ensayo mediante la toma de fotografía con el uso de la cabina portátil, con la finalidad de presentar el mecanismo utilizado. Se consideró relevante poder comparar la muestra, antes y después del ensayo, para detectar si hubo pérdida o desprendimiento de la película de pintura. En caso de que ocurriera, debe descartarse la muestra correspondiente.



Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 5.** TOMA DE IMÁGENES DE UNA MUESTRA ENSAYADA POR EL MÉTODO DE PULIMENTO ACCELERADO

### Taber Abraser

En el Taber Abraser la pintura M<sub>4</sub> presentó un Índice de Abrasión ( $I_a$ ) promedio de 103 mg, con un desvío de 14 mg, y la pintura M<sub>1</sub> obtuvo un índice de 91 mg, con un desvío de 12,7 mg.

Por otro lado, las otras pinturas acrílicas puras con base acuosa obtuvieron valores menores. Así, la pintura M<sub>2</sub> obtuvo un índice de 42 mg, con desvío de 2 mg, y la pintura M<sub>3</sub> un índice de 55,7 mg, con desvío de 3,2 mg. De los resultados se desprende que la pintura M<sub>4</sub> y M<sub>1</sub> tuvieron una baja resistencia a la abrasión comparadas con los otros materiales. Asimismo, estos valores fueron similares a los que Fatemi *et al.* [18] obtuvieron en las muestras con peor comportamiento en el mismo ensayo realizado para su trabajo.

### Prueba de los materiales en servicio

Es preciso mencionar que se tuvieron condiciones climáticas críticas debido a que, luego de aplicada la pintura, la temperatura se mantuvo en valores bajos (que oscilaron entre 10 °C y 20 °C) con elevada humedad ambiente (en general por encima de 80 % salvo algunos picos más bajos de 40 %). Además, la temperatura ambiente, en el momento de la aplicación, resultó inferior a 17 °C. Para obtener datos del TMDA, se realizó una aproximación considerando el conteo del tránsito del día martes, 11 de junio de 2019, de 8 a 9 horas, y utilizando un coeficiente de 13,2 [19]. Con ello, se estimó en la avenida 60 un TMDA de 30.230 veh/día.

En la figura 6 se presenta la comparación de la senda peatonal a lo largo del tiempo. En la imagen izquierda, se observa el deterioro sufrido en las pinturas M<sub>3</sub> a pocos días de aplicada. Es evidente, por su aspecto visual, que se debe al desprendimiento de la película de pintura. Además, es preciso relacionar este fenómeno, con las condiciones climáticas adversas mencionadas de temperatura, humedad y precipitación. En la imagen derecha se presenta la pintura M<sub>4</sub>, la cual, transcurrido los 4 meses, presentó un desgaste principalmente en la zona con pavimento de hormigón (Franjas F<sub>3</sub> y F<sub>4</sub>). A pesar de ello, se puede decir que demuestra un buen comportamiento en servicio.



Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 6.** SECUENCIA DE FOTOS EN LA PRUEBA. IZQ.: PINTURA M<sub>3</sub>, DER.: PINTURA M<sub>4</sub>

## Absorción de agua

La muestra M<sub>1</sub> es la que presentó la mayor absorción de agua con un valor de 11,3 %. En el otro extremo se encuentra la pintura M<sub>4</sub> con una absorción de 0,6 %. En una posición intermedia se encuentran las pinturas M<sub>2</sub> con 6,3 % y M<sub>3</sub> con 3,4 %. Estos resultados son coherentes con lo que se espera; es decir, que las películas más lisas y uniformes presenten un valor menor de absorción. Además, es preciso recordar que las pinturas M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> y M<sub>3</sub> son pinturas con base acuosa, aspecto que es relevante en la diferencia de absorción con la pintura M<sub>4</sub> que corresponde a una pintura con base solvente.

## Discusión de los resultados

**TABLA 1.** VALORES DE TENSIÓN OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE ADHERENCIA POR TRACCIÓN

Ensayo		Pintura M1	Pintura M2	Pintura M3	Pintura M4
Taber Abraser					
Pulimento Acelerado	Abrasión				
	Desprendimiento				
Absorción					
Prueba en servicio					
Escala de colores para el comportamiento:		Peor			Mejor

**Fuente:** elaboración propia.

En la tabla 1, con un formato de doble entrada, se presenta un resumen de los resultados de las distintas muestras de pintura en cada uno de los ensayos realizados. Para ello, se utilizó una escala de colores para indicar el material que evidenció el mejor comportamiento (color verde) y el peor comportamiento (color rojo).

Al comparar los ensayos Taber Abraser y de Pulimento Acelerado se observaron diferencias en el comportamiento de los materiales. Por un lado, resulta relevante la diferencia en el comportamiento de las pinturas M<sub>2</sub> y M<sub>4</sub>. Esta última, presentó una elevada pérdida de peso en el caso del ensayo Taber Abraser, pero ocurrió lo opuesto en el ensayo de Pulimento Acelerado, en cambio, se observó lo contrario con la pintura M<sub>2</sub>. La pintura M<sub>1</sub> presentó un mal desempeño en ambos casos y, la pintura M<sub>3</sub> presentó la menor pérdida de peso en las mismas condiciones de curado en ambos ensayos. Respecto a esto, es importante mencionar que el ensayo de Pulimento Acelerado puso en evidencia fallas de adherencia de la pintura M<sub>3</sub> en presencia de agua, aspecto relacionado con lo que ocurre en la prueba de campo.

De la observación de la tabla 1, surgió que el ensayo de absorción estuvo relacionado con la pérdida de peso por abrasión con el ensayo de Pulimento Acelerado. Las pinturas que presentaron un mejor comportamiento en este ensayo son las que tuvieron menor absorción de agua (por debajo de 3 %).

Con el ensayo de Pulimento Acelerado se recorrió un largo camino en el desarrollo de la metodología y en la determinación del material de sustrato, condiciones de curado y parámetros evaluados. Se puede decir que, por lo tanto, se cuenta con un punto de partida para comenzar con la normalización de valores para los distintos materiales.

## CONCLUSIONES

Se implementó el ensayo de Pulimento Acelerado y se encontró una herramienta eficaz en la valoración de los materiales, tanto por la “rapidez del ensayo/adquisición de los resultados” como por la posibilidad de ensayar varias pinturas simultáneamente (14 muestras) bajo las mismas condiciones. Si bien, es necesario ampliar el rango de materiales en el ensayo, se observó que en las pinturas acrílicas la pérdida de peso mantuvo cierta tendencia a los valores encontrados. Además, se demostró que en los materiales estudiados existe una relación entre la Absorción de Agua de la pintura y el comportamiento registrado en los ensayos de abrasión mediante Pulimento Acelerado, pues se consideró que la absorción de agua está relacionada con el tipo de material.

En estas primeras experiencias del ensayo de Pulimento Acelerado se obtuvo un comportamiento diferente en algunas muestras comparadas con el ensayo Taber Abraser. En la prueba en servicio realizada, se observó que la pintura M4 presentó un comportamiento aceptable, aún en condiciones ambientales adversas; esto es relacionable con el ensayo de Pulimento Acelerado.

De todas formas, si bien el ensayo de Pulimento Acelerado pone en evidencia una falla de adherencia en algunas pinturas, debido a que se pretende evaluar el desgaste en los materiales por el paso del tránsito y el efecto del agua, se recomienda en futuras aplicaciones de la metodología descartar los resultados en que se observe esta falla en la zona de ensayo. Por lo expuesto, sería recomendable efectuar la evaluación de la adherencia con el sustrato en servicio (ensayo a implementar en experiencias futuras).

## REFERENCIAS

- [1] M. Pirola, “La señalización vial y su impacto actual sobre el principio de confianza en la normalidad o seguridad del tránsito”, in *Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera*, no. 151, , 2007, pp.100-102.

- [2] D. Babić, T. Burghardt y D. Babić, “Application and characteristics of waterborne road marking paint”, in *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, vol.5, no. 2, 2015, pp.150-169.
- [3] Y. Mouton, *Organic materials in civil engineering*, London: John Wiley & Sons, 2013.
- [4] H. Moreira y R. Menegon, *Sinalização Horizontal*, São Paulo: Master Set Gráfica, 2003.
- [5] D. Montebello y J. Schroeder, *Cost of pavement marking materials*, MN, USA: MN/RC-2000-11, 2000.
- [6] H. Fares, K. Shahata, E. Elwakil, A. Eweda, T. Zayed, M. Abdelrahman and I. Basha, “Modelling the performance of pavement marking in cold weather conditions”, in *Structure and Infrastructure Engineering*, vol.8, no.10, Nov. 2012, pp 1067-1079. Doi: 10.1080/15732479.2010.504212.
- [7] D. Albalate, L. Fernández y A. Yarygina, “The road against fatalities: Infrastructure spending vs. regulation??”, in *Accident Analysis & Prevention*, vol. 59, oct. 2013, pp 227-239. Doi: 10.1016/j.aap.2013.06.008.
- [8] V. V. Mechura, *Nuevas tecnologías en recubrimientos retrorreflectantes para demarcación vial*, [Ph.D. dissertation], UTN FRLP, Bs. As., Argentina, 2021. [Online]. Available: <http://www.https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/5919>.
- [9] D. Calavia, “Progreso en señalización horizontal y seguridad viaria”, in *Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera*, vol. 190, jul/Ago 2013, pp 27-40.
- [10] J. Migletz, J. Fish, J. Graham, *Roadway delineation practices handbook, Report FHWA-SA-93-001*, Washington, USA: FHWA, 1994.
- [11] *Materiales para señalización vial horizontal. Pruebas de campo*, UNE-EN 1824, 2012.
- [12] *Materiales para señalización vial horizontal. Simulador de desgaste. Mesa giratoria*, UNE-EN 13197, 2012.
- [13] *Recubrimiento para demarcación de pavimentos. Pintura vial retrorreflectante y no retrorreflectante*, IRAM 1221, 2018.
- [14] *Equipamiento para la señalización vial. Señalización horizontal. Materiales. Ensayos de abrasión en laboratorio. Parte 2: Determinación de la resistencia a la abrasión mediante el método de caída de un abrasivo*, UNE 135203-2, 2010.
- [15] *Equipamiento para la señalización vial. Señalización horizontal. Materiales. Ensayos de abrasión en laboratorio. Parte 1: Determinación de la resistencia a la abrasión mediante el método Taber*, UNE 135203-1, 2010.
- [16] *Agregados. Determinación del coeficiente de pulimento acelerado*, IRAM 1543, 2002.



- [17] J. Alonso, *Pinturas, barnices y afines: composición, formulación y caracterización*, Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Politécnica de Madrid, 2016.
- [18] S. Fatemi, M. Varkani, Z. Ranjbar, and S. Bastani, “Optimization of the water-based road-marking paint by experimental design, mixture method”, in *Progress in organic coatings*, vol.55, no4, Apr. 2006, pp.337-344. Doi:10.1016/j.porgcoat.2006.01.006.
- [19] J. Rivera, “Metodología para la obtención del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) por conteos diarios”, in *SABER Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, vol.19, no.2, 2007, pp. 192-204.