

Comparación de ensayos de abrasión para la evaluación del desempeño de pinturas acrílicas para demarcación vial

Abrasion tests comparison to evaluate the performance of road marking acrylic paints

Verónica Vanesa MECHURA

Miembro del LEMaC Centro de Investigaciones Viales. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional La Plata.

Héctor Luis DELBONO

Miembro del LEMaC Centro de Investigaciones Viales. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional La Plata.

Guadalupe CANOSA

Miembro del CITEMA. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional La Plata.

RESUMEN

Para evaluar la durabilidad de los materiales de demarcación vial, existen ensayos que van desde pruebas de campo a equipos de gran escala que demandan un tiempo importante de ensayo para obtener el resultado. Por otra parte, para evaluar la resistencia a la abrasión, se utilizan métodos generales para todo tipo de pinturas. En base a lo mencionado, se implementa el equipo de Pulimento Acelerado de Áridos y el ensayo de Abrasión por vía húmeda utilizado para lechadas asfálticas con el fin de analizar el desempeño de los materiales de demarcación vial en servicio. Para ello, se hace uso de pinturas acrílicas de base acuosa y base solvente, y se comparan los valores obtenidos con el ensayo *Taber Abraser* en las mismas condiciones de curado. Como resultado, el 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.

PALABRAS CLAVE: Demarcación vial, Pintura acrílica, Pulimento acelerado, Abrasión.

ABSTRACT

To evaluate the durability of road marking materials, there are tests ranging from field tests to large-scale equipment that require large testing time to obtain the results. On the other hand, to evaluate abrasion resistance, there are used general methods for all types of paints. For this reason, the *Aggregates Accelerated Polishing Machine* and the *Wet Abrasion Test* (used for asphalt slurries), are implemented in order to evaluate the performance of road marking materials, in service. Both waterborne and solventborne acrylic paints are used and the results are compared with the *Taber Abraser Test* under the same curing conditions. As a conclusion, the *Accelerated Polishing Test* allows to estimate in service behavior of road marking paints with the advantage of being able to test several samples under the same conditions simultaneously.

KEY WORDS: Road marking, Acrylic paint, Accelerated polishing, Abrasion.

Introducción

La señalización horizontal es uno de los elementos viales que guarda mayor relación con la seguridad en la carretera, ya que permite al conductor mantener el vehículo dentro del carril de circulación y planear la tarea de conducción hacia adelante. Por este motivo, la falta de señalización o el deterioro de la misma tienen repercusión directa e inmediata en la circulación de los vehículos, siendo un factor determinante para la seguridad vial. La señalización se materializa mediante marcas viales que están constituidas por un conjunto de líneas longitudinales y transversales, signos y símbolos en la superficie de los pavimentos.

Las marcas viales se pueden construir *in situ* mediante la aplicación directa sobre la calzada (sustrato) de un sistema de señalización vial horizontal constituido por un material base (pinturas, termoplásticos o plásticos en frío) con el agregado de microesferas de premezcla y de sembrado. Los materiales base se diferencian según su forma de aplicación, por cómo impactan en el medio ambiente y en la salud de las personas y por sus características durante su vida útil.

Las pinturas son materiales utilizados a nivel mundial y están compuestas por resinas (históricamente, se han utilizado resinas de caucho clorado y, más recientemente, están siendo reemplazadas por mezclas acrílico-estrenadas, alquídicas-acríticas o 100% acrílicas), pigmentos (funcionales y cargas), solventes y numerosos aditivos. Las pinturas contemporáneas de base solvente se formulan utilizando resinas acrílicas que se disuelven en solventes orgánicos como ésteres o cetonas. Después de la aplicación, la evaporación del solvente hace que el polímero se solidifique y, por lo tanto, que la película se forme mediante un fenómeno puramente físico. El solven-

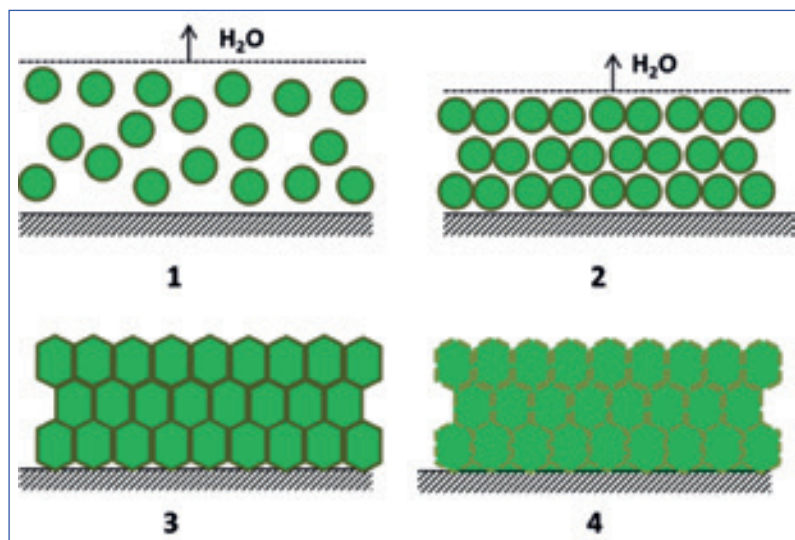


Figura 1. Fenómeno de secado por coalescencia⁽⁹⁾.

te sirve solo para hacer que la pintura sea líquida y luego escapa a la atmósfera como COV (Compuesto Orgánico Volátil), que, en el caso de una pintura para señalización vial con alto contenido de sólidos, alcanza los 400-500 g / l (~ 25%)⁽⁹⁾. En cambio, en el caso de las pinturas de 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. Para comprender el mecanismo de formación del film de un polímero en emulsión a la temperatura correcta (superior a la mencionada TMFF), se presenta en la Figura 1 el mecanismo dividido en cuatro fases. La primera imagen corresponde al momento de la aplicación de la emulsión que contiene el agua en su totalidad y las partículas de polímero se mueven libremente en su seno. Luego, conforme se evapora el agua, las partículas de polímero se acercan unas a otras y, a medida que el agua continúa evaporándose, se deforman y se unen de manera progresiva, formando la película⁽⁹⁾.

La señalización horizontal es uno de los elementos viales que guarda mayor relación con la seguridad en la carretera, ya que permite al conductor mantener el vehículo dentro del carril de circulación.

Este trabajo plantea la implementación de ensayos utilizados en el ámbito vial para simular el desgaste de las marcas viales producido en servicio y, de esta manera, obtener una valoración de las distintas pinturas utilizadas..

En este tipo de pinturas es frecuente la formación de grietas en las películas debido a que, durante el secado de las mismas (mediante el mencionado fenómeno de coalescencia), se generan tensiones de forma espontánea de diferente magnitud. Estas últimas dependen de las variables de formulación, de las materias primas utilizadas y de la forma de elaboración de las pinturas (eficiencia de la dispersión)⁽ⁱⁱⁱ⁾.

En diversas regiones, como parte del movimiento mundial para limitar las emisiones de COV (Compuestos Orgánicos Volátiles) y de residuos peligrosos, con el objeto de minimizar los efectos en la salud humana y buscar un mejor desempeño, las pinturas de base solvente se están reemplazando por las pinturas de base acuosa^(iv, v).

Desafortunadamente, hay pocos lineamientos que sugieren el tipo de material que conviene utilizar y, a menudo, se selecciona el mismo por el costo inicial. Este aspecto puede terminar en una falla de durabilidad, mala retrorreflectividad y aumento de los costos a largo plazo^(vi). 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 vial y reducir los accidentes de tránsito^(vii). Si bien es importante la inversión en el mantenimiento de las carreteras, incluido el mantenimiento de la señalización horizontal, se ha demostrado que el aumento de la inversión en conservación viaria resulta más eficaz si va acompañado de un apoyo regulatorio, ya sea sancionador o limitador^(viii).

Para evaluar la durabilidad de los productos de demarcación vial, existen ensayos exclusivos que van desde pruebas de campo (por ejemplo, según la Norma UNE EN 1824/2012)^(ix) a equipos de gran escala denominados “Simuladores de Desgaste” (por ejemplo, según la Norma UNE EN 13197/2012)^(x). Dichos métodos requieren un tiempo considerable de ensayo para obtener el resultado^(xi). Por otra parte, se utilizan 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 se realiza mediante la Norma IRAM 1221/2018^(xii), 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 la Norma UNE 135203-2/10)^(xiii) o por el “Método Taber” (según UNE 135203-1/10)^(xiv). Utilizando este último método, algunos autores que comparan la resistencia a la abrasión de pinturas acrílicas de base solvente y acuosa encontraron un excelente comportamiento y una menor pérdida de peso por abrasión en estas últimas comparadas con las de base solvente. También destacan que los tiempos medidos de resistencia al secado y al lavado en las pinturas de base 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.

El presente trabajo se enmarca en una tesis doctoral donde se plantea la implementación de ensayos utilizados en el ámbito vial para simular el desgaste producido en servicio y, de esta manera, obtener una valoración de las distintas pinturas utilizadas para demarcación horizontal en pavimentos. Para ello, se implementa la adaptación del ensayo de “Pulimento Acelerado de Áridos” y del ensayo “Wet Track Abrasion Test (WTAT)” sobre sustratos adaptados para la aplicación de la pintura en estudio. De esta forma, se pretende hallar un método para determinar en laboratorio el desempeño de las pinturas, considerando el tránsito simulado y el efecto del agua. Estos resultados son comparados con las pérdidas de peso por abrasión mediante el ensayo “Taber Abraser” sobre los mismos materiales.

1. Trabajo experimental

Se hicieron pruebas con distintos ensayos de laboratorio con la finalidad de determinar cuál de ellos permite representar de forma más adecuada el desempeño frente a la abrasión producida por el tránsito de los materiales ensayados. Se describen los distintos equipos utilizados y el mecanismo de ensayo adoptado en cada caso. Se presenta también una breve caracterización de cada uno de los materiales.

1.1. Ensayo “Taber Abraser”

Se evaluó la resistencia a la abrasión con la utilización del abrasímetro Taber con ruedas abrasivas CS-10, con una carga cada una de 500 g. Para el ensayo se utilizaron chapas de 10 cm de lado sobre las que se aplicó cada una de las pinturas en estudio y se mantuvieron las mismas a 40°C durante 168 horas. Los ciclos y la

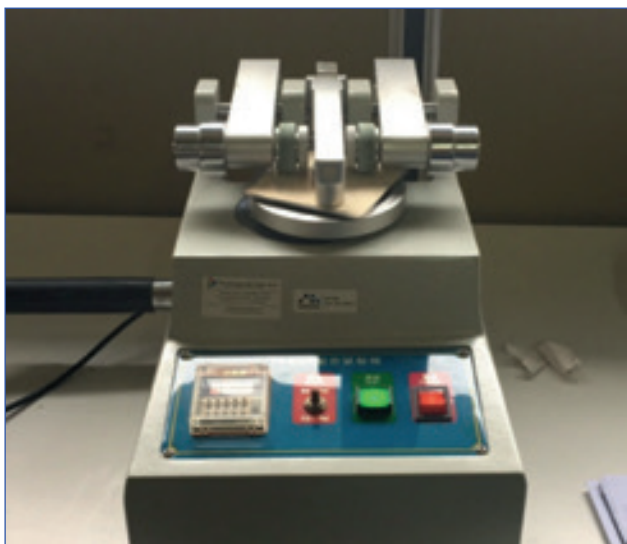


Figura 2. Equipo Abrasímetro Taber Abraser (Fuente: elaboración propia).

determinación de los valores se realizaron siguiendo los lineamientos de la Norma UNE 135203-1/2010^(xiii). En la Figura 2 se muestra el equipo utilizado para el ensayo de los materiales que se encuentra en el Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) de La Plata.

1.2. Equipo de Pulimento Acelerado

Otro de los equipos empleados para generar el desgaste de las pinturas es el denominado de Pulimento Acelerado de Áridos, utilizado para caracterizar la calidad de los áridos en las capas de rodadura, que se encuentra enmarcado en la Norma NLT-174/93^(xiv). En la Figura 3 se muestra el equipo utilizado en el Centro de Investigaciones Viales LEMaC de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata (UTN FRLP); en dicha figura se observa que el equipo presenta un mecanismo denominado "rueda de ensayo", sobre cuya periferia lisa y plana se fijan 14 probetas para conformar una superficie continua de rodadura. A su vez, contiene un sistema para hacer girar la rueda de caucho maciza de ensayo alrededor de su eje a una velocidad de 343 vueltas/min. Con la ayuda de un mecanismo del equipo, la superficie de la rueda de caucho apoya sobre las probetas de la rueda de ensayo con una carga total de $725 \pm 10\text{N}$. Se utiliza el dispositivo disponible para la alimentación del agua durante el ensayo, que consiste en un recipiente cilíndrico transparente con boca ancha, provisto de una tapa sifónica. Dicho recipiente va 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, desde el depósito, desemboca en un compartimento solidario con la rampa del abrasivo (no utilizado en este caso).

A partir de la sistemática de ensayo adoptada, se hicieron diferentes pruebas con distintos productos para generar el sustrato de las pinturas. Las pruebas realizadas indican que el sustrato óptimo se obtiene al utilizar resinas epoxídicas en gel cuyo molde se observa en la Figura 4.

Sobre el sustrato cuyo peso inicial registrado es P_0 , se aplican las pinturas mencionadas y se acondicionan



Figura 3. Equipo de Pulimento Acelerado de Áridos del LEMaC (Fuente: elaboración propia).

en una cámara a 40°C por un período de 168 horas. Una vez finalizado el mismo, se registra el peso P_1 y se procede a ensayar las probetas por un período de 4 horas. Tras el ensayo, se dejan secar las probetas durante 24 horas en cámara con recirculación de aire a 40°C y se registra el peso P_2 . Se calcula la pérdida de peso (PP) en gramos correspondiente a 4 horas de ensayo según la Ecuación 1.

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

1.3. Ensayo Wet Track Abrasion Test (WTAT)

El otro equipo implementado es un agitador mecánico, modelo Hobart N-50, utilizado para lechadas asfálticas según la Norma ASTM D3910-90^(xv). Consiste en una máquina de abrasión con un eje vertical de ensayo con un doble movimiento, de rotación y circular de traslación. El extremo inferior del eje vertical contiene un cabezal con una manguera de goma reforzada que roza sobre la probeta sumergida en agua hasta la finalización del ensayo. En este caso, se hizo una adaptación de la bandeja de ensayo reemplazando la original por una bandeja cuadrada con un recorte en una esquina. En la Figura 5 se puede observar el equipo utilizado en estas experiencias.



Figura 4. Confección de los sustratos de las muestras (Fuente: elaboración propia).



Figura 5. Equipo WTAT del Centro LEMaC (Fuente: elaboración propia).

Para llevar a cabo el ensayo, se utilizan chapas lisas cincadas de dimensiones 30 cm x 30 cm con un recorte en una esquina. Sobre las mismas se pinta con un aplicador para obtener un espesor uniforme del orden de 600 μm en húmedo, y se colocan las muestras en cámara a 40°C durante 168 horas. Se obtiene el peso inicial (P_a) y se procede a realizar el ensayo dejando previamente en reposo la muestra sumergida en agua durante 1 hora, para luego proceder a ensayar por un período de 20 minutos. Las probetas ensayadas se llevan a la cámara con recirculación de aire por un período de 24 horas a 40°C y se registra el peso después del ensayo (P_d). Finalmente, se calcula la pérdida de peso por abrasión PA (en g/m^2) según la ecuación 2.

$$PA = (Pa - Pd) \quad (2)$$

1.4. Materiales

En el marco del desarrollo del trabajo se estudiaron tres pinturas acrílicas de base acuosa y una pintura acrílica de base solvente. En todos los casos los materiales evaluados fueron de color blanco. La denominación de las pinturas es:

- **ALU:** Pintura acrílica de base acuosa. Su ficha de seguridad indica que presenta una densidad de 1,70 g/cm^3 , siendo las sustancias componentes: emulsión acrílica acuosa, dióxido de titanio, agua amoniacal, metanol, etanol y cargas minerales naturales y sintéticas a base de carbonatos, silicatos y óxidos. Estos tres elementos últimos en un porcentaje de contenido máximo del 34%. El porcentaje en peso de sólidos contenido en la pintura es de 74,5%, determinado de acuerdo a la Norma UNE EN 12802/2011.
- **AF01:** Pintura acrílica acuosa. Según las especificaciones del fabricante, presenta una densidad relativa de 1,77 g/cm^3 . El producto presenta un COV de 1,39% en peso. El porcentaje en peso



Figura 6. Equipo IRAffinity-1 (Fuente: elaboración propia).

de sólidos contenido en la pintura es del 82,5%, determinado de acuerdo a la Norma UNE EN 12802/2011.

- **AF05:** Pintura acrílica acuosa. Según las especificaciones del fabricante, presenta una densidad relativa de 1,73 g/cm^3 . El producto presenta un COV de 1,6% en peso. El porcentaje en peso de sólidos contenido en la pintura es de 82,2%, determinado de acuerdo a la Norma UNE EN 12802/2011.
- **SLU:** Pintura base de resinas acrílicas disueltas en solventes aromáticos y oxigenados. La pintura sin el agregado de microesferas, según las especificaciones técnicas del fabricante, tiene una densidad de 1,44 g/cm^3 . El porcentaje en peso de sólidos contenido en la pintura es del 75,5%, determinado de acuerdo a la Norma UNE EN 12802/2011. En la información de seguridad se indica como sustancias componentes: resinas acrílicas modificadas, dióxido de titanio, pigmentos, diatomea, calizas, acetona, tolueno y destilados del petróleo. Estos tres últimos elementos presentes en un porcentaje de contenido máximo del 34%.

Debido a que las especificaciones de los materiales no indicaban mayores características de los mismos, las pinturas fueron analizadas por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en un equipo IRAffinity-1 disponible en el Centro CITEMA de la UTN FRLP (Figura 6), mediante el método de transmisión.

La Figura 7 presenta los espectros FTIR de cada una de las pinturas utilizadas que fueron evaluadas en estado de película seca.

De los espectros obtenidos, se comparan los valores de longitud de onda de cada uno, encontrando que se asemejan bastante en su composición y que los cuatro presentan los picos característicos de resinas acrílicas enunciados en la bibliografía consultada^(xvii).

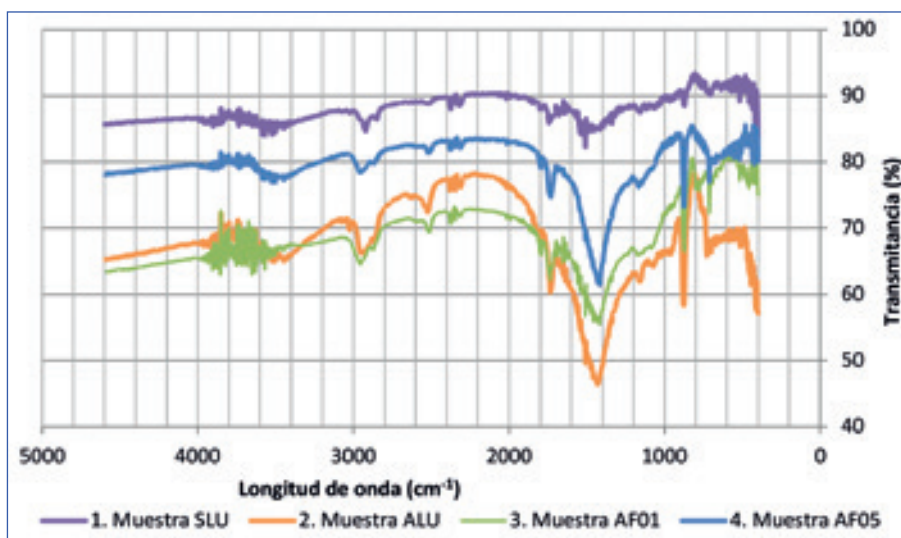


Figura 7. Espectros FTIR de las pinturas utilizadas.

Muestra	Peso inicial P ₁ (g)	Peso final P ₃ (g)	Pérdida de peso (g)	Índice de abrasión I _a	Índice de abrasión promedio I _{ap}	Desvío estándar
T-ALU-1	167,8853	167,8653	0,0200	0,1000	0,0910	0,01273
T-ALU-2	166,1563	166,1399	0,0164	0,0820		
T-AF01-1	145,0764	145,0683	0,0081	0,0405	0,0420	0,00212
T-AF01-2	114,6507	114,6420	0,0087	0,0435		
T-AF05-1	144,5061	144,4945	0,0116	0,0580	0,0558	0,00318
T-AF05-2	142,1938	142,1831	0,0107	0,0535		
T-SLU-1	134,5597	134,5393	0,0204	0,1020	0,1030	0,00141
T-SLU-2	169,3723	169,3515	0,0208	0,1040		

Tabla 1. Índice de Abrasión por el método Taber Abraser de acuerdo a Norma UNE 135203-1/10.

Se observa que las pinturas ALU y SLU tienen pequeños picos en la zona superior a los 3000 cm⁻¹, característicos de resinas acrílicas estirenadas^(xviii). Con respecto a las pinturas AF01 y AF05, se deduce que las mismas son tipo acrílicas puras debido a que no presentan dichas vibraciones.

2. Resultados y discusión

2.1. Taber Abraser

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos con el ensayo Taber Abraser, observándose que las muestras que mejor comportamiento tuvieron son las acrílicas puras de mayor contenido de

sólidos en masa. En cambio, las acrílicas estirenadas, tanto de base acuosa como de base solvente, tuvieron un comportamiento similar. Este resultado es coherente con el comportamiento general que presenta este tipo de resinas, ya que se ha observado en la bibliografía que las resinas acrílicas estirenadas presentan una menor resistencia a la abrasión que las resinas acrílicas.

2.2. Pulimento Acelerado

La Figura 8 presenta el gráfico con los distintos resultados de pérdida de peso (g) obtenidos sobre las muestras ensayadas. Se puede observar que en la mayoría de los casos los valores se encuentran por debajo de 0,15 gramos. Se destaca que, por ejemplo, en las muestras 7 a 15 se aplicó la pintura SLU por spray con microesferas sembradas y se observa que los valores se mantuvieron dentro del rango que en el caso del mismo material aplicado con pincel sin microesferas. Es importante aclarar que previo al pesaje inicial, en las probetas con microesferas sembradas se limpiaron suavemente con cepillo para eliminar las que no estaban adheridas. Lo mismo sucede en el caso de la pintura AF05, las muestras 6, 7, 8, 9 y 10 (Figura 8) fueron aplicadas por spray y se observa que, como en el caso anterior, los valores se mantienen dentro del mismo rango. De esta forma, podemos inferir que, en el caso de este ensayo, el resultado del

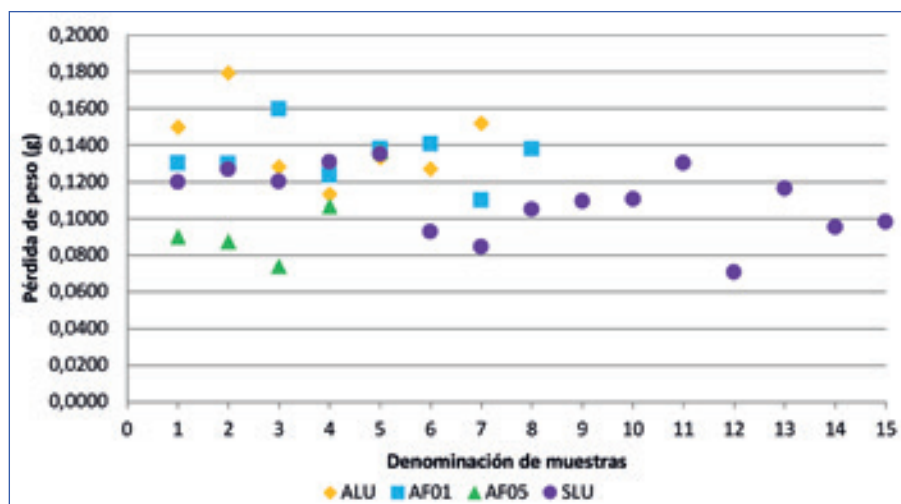


Figura 8. Variación de la pérdida de peso de pintura tras el ensayo de Pulimento Acelerado en las muestras ensayadas.

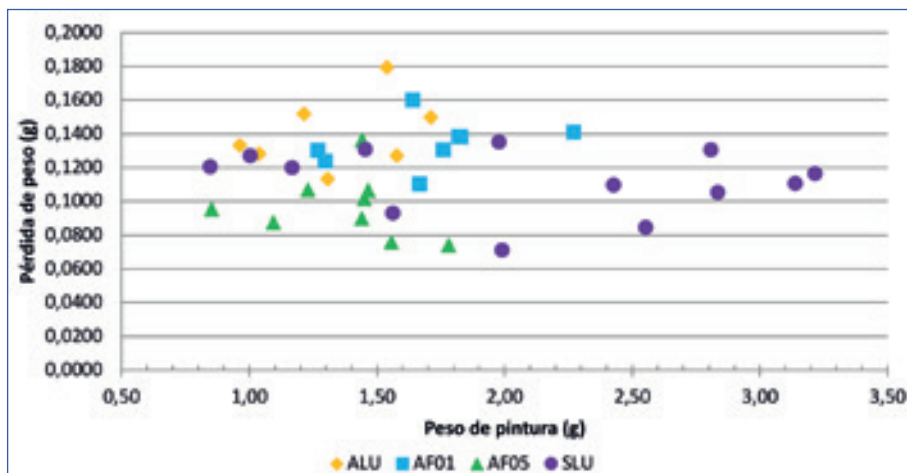


Figura 9. Variación de la pérdida de peso de pintura tras el ensayo de Pulimento Acelerado con respecto al peso de pintura colocado en cada muestra.

tuvo en este ensayo. Por otro lado, la pintura AF01 no ha tenido un comportamiento satisfactorio, con una pérdida de peso promedio de 0,134 g. Es preciso aclarar que en la página web del material está principalmente recomendada para trabajos de repintado de marcas viales existentes.

Por otra parte, en la Figura 9 se observa una comparación de la pérdida de peso en gramos relacionada con el peso de pintura original de la misma muestra. Se resalta que, a pesar de que en algunos casos se agregó mayor cantidad de pintura, la pérdida de peso se mantiene en valores similares.

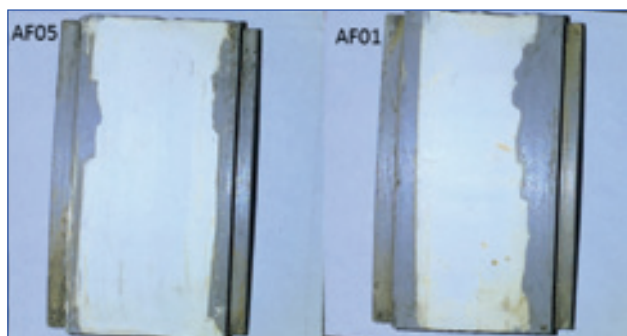


Figura 10. Muestras ensayadas con falla de adherencia (Fuente: elaboración propia).

desgaste es independiente del método de aplicación (pincel o spray) y es una propiedad de la pintura.

De la Figura 8 también se desprende que la pintura AF05 es la que obtuvo menor pérdida de peso por abrasión, con un valor promedio de 0,097 g, compatible con lo que se espera por ser una pintura en emulsión con resina acrílica pura. Por otro lado, las pinturas formuladas con resinas acrílicas estirenadas han obtenido una pérdida de peso mayor, por ejemplo, en el caso de la de base solvente (SLU), obtuvo una pérdida promedio de 0,11 g y, en el caso de la pintura de base acuosa ALU, de 0,141 g, siendo la que peor comportamiento

En el caso principalmente de las pinturas de base acuosa AF05 y también en algunos casos de la pintura AF01, se observa que la película de pintura no tiene buena adherencia con el sustrato. Como en este ensayo 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 evaluar la adherencia con el sustrato en estudio y descartar los resultados en los que se observe esta falla en la zona de ensayo. Es importante resaltar que las principales fallas de adherencia ocurrieron cuando se aplicó la pintura en los meses de junio y julio, siendo la época en que se producen las temperaturas ambientes más bajas en Argentina; considerando que las pinturas secan por coalescencia, éste fenómeno podría estar relacionado con el curado de la película de pintura. Por este motivo se recomienda, antes de la aplicación de la pintura, registrar la temperatura del sustrato y la temperatura ambiente en el momento de la aplicación.

En la Figura 10 se muestran imágenes después de ser ensayadas, tomadas en condiciones controladas de iluminación de las probetas pintadas con las pinturas AF01 y AF05, donde se observa esta falla.

En la Figura 11, utilizando la misma cabina generada para la toma de imágenes, se presentan cuatro probetas con cada una de las pinturas ensayadas. El hecho de tomar imágenes antes y después del

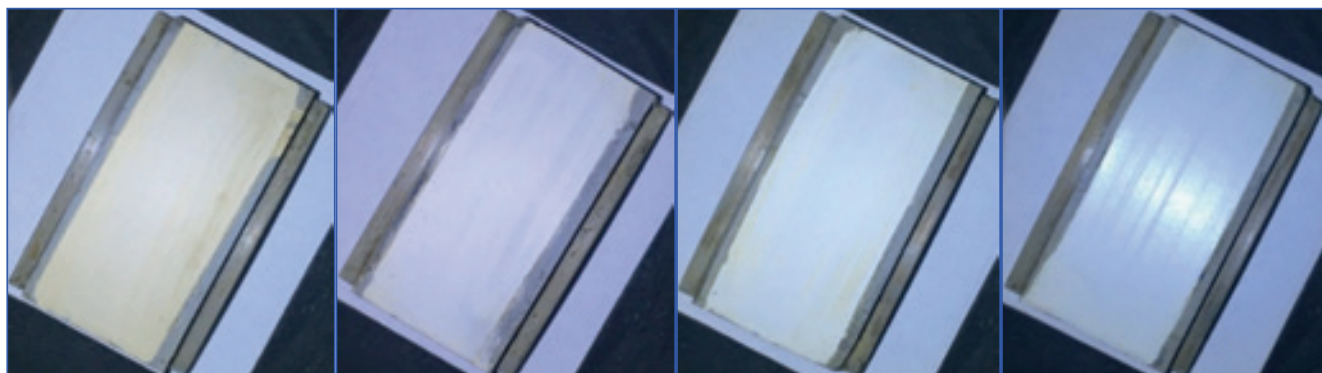


Figura 11. Muestras ensayadas por el método de Pulimento Acelerado (Fuente: elaboración propia).

ensayo permite justificar en el caso de que se observe una falla o si existe pérdida de la película de pintura, debiendo descartarse la muestra correspondiente.

Si bien es necesario continuar con el ensayo de Pulimento Acelerado para determinar un valor límite, incluso con otros materiales de demarcación vial, se encuentra que es un ensayo que permite evidenciar el efecto del tránsito y el agua en las películas de pintura de demarcación vial. Es preciso destacar que este ensayo permite evaluar 14 muestras en las mismas condiciones.

2.3. WTAT

En este ensayo no se ha obtenido un comportamiento tan homogéneo como se observó en el caso del pulimento acelerado, ya que se obtuvieron valores variables entre los mismos materiales. De todas formas, se agregan a los resultados las experiencias realizadas bajo distintas condiciones y tiempos de curado, representados en las Figura 12.

De la Figura 12 se evidencia claramente que, si bien los materiales han curado, es sumamente importante la condición de humedad y temperatura ambiente, condicionando la respuesta frente a la abrasión. Aunque parece lógico, se destaca que en la demarcación horizontal no es posible realizar un curado en condiciones controladas, ya que la aplicación se realiza en las rutas.

De los resultados se observa que, en las condiciones de curado indicadas (cámara a 40°C durante 168 horas), la que ha tenido el mejor comportamiento es la pintura de base solvente SLU, con una pérdida de peso por abrasión mediante éste método de 0,14 g y, como en el caso anterior, la de peor comportamiento en las mencionadas condiciones es la pintura ALU, que presentó una pérdida promedio de 0,57 g de pintura, acompañada por la pintura AF01, con una pérdida de 0,49 g en promedio. En la Figura 13 se muestra el agua de ensayo de las probetas una vez finalizado el ensayo WTAT, realizado sobre probetas curadas en cámara a 40 °C.

De la observación visual sobre lo sucedido se piensa que este fenómeno puede ocurrir por la diferencia en la formación de la película seca, debido a que las pinturas de base acuosa secan por coalescencia y las pinturas de base solvente por simple evaporación. Se observa en la misma imagen

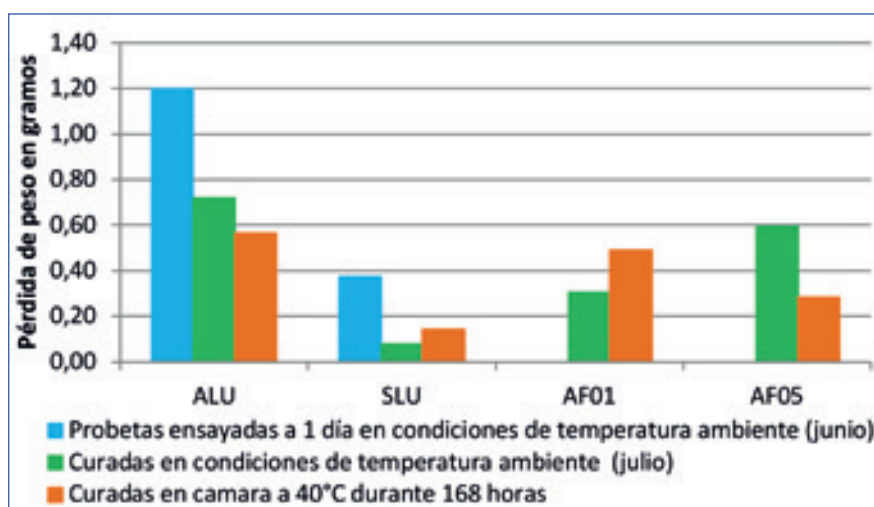


Figura 12. Pérdida de peso en el ensayo WTAT en distintas condiciones de humedad y temperatura.

que hubo pérdida del material formador de película que, al quedar disperso en el agua del ensayo, hizo que el agua quedara con aspecto blanquecino.

2.4. Aspecto visual de los materiales

Otro aspecto que se ha evidenciado, sobre todo al aplicar las pinturas en áreas mayores que las de pulimento, como por ejemplo, con las probetas de ensayo WTAT y Taber Abraser, son las fallas visuales. Las mismas se pueden observar en la Figura 14.

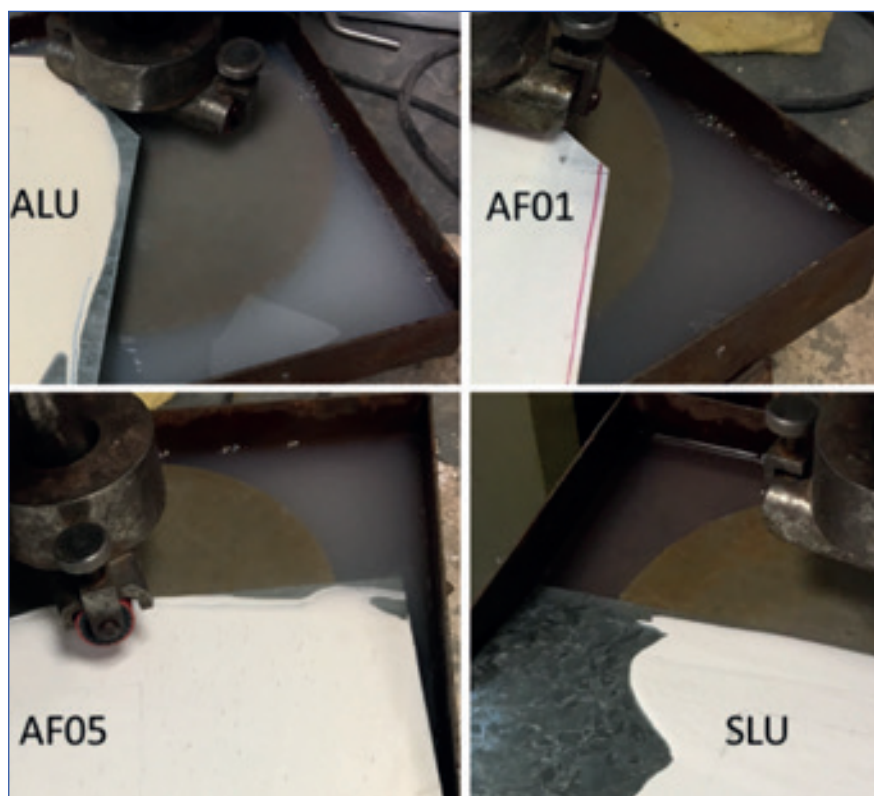


Figura 13. Imágenes del aspecto del agua finalizado el ensayo WTAT en cada una de las muestras de pintura (Fuente: elaboración propia).

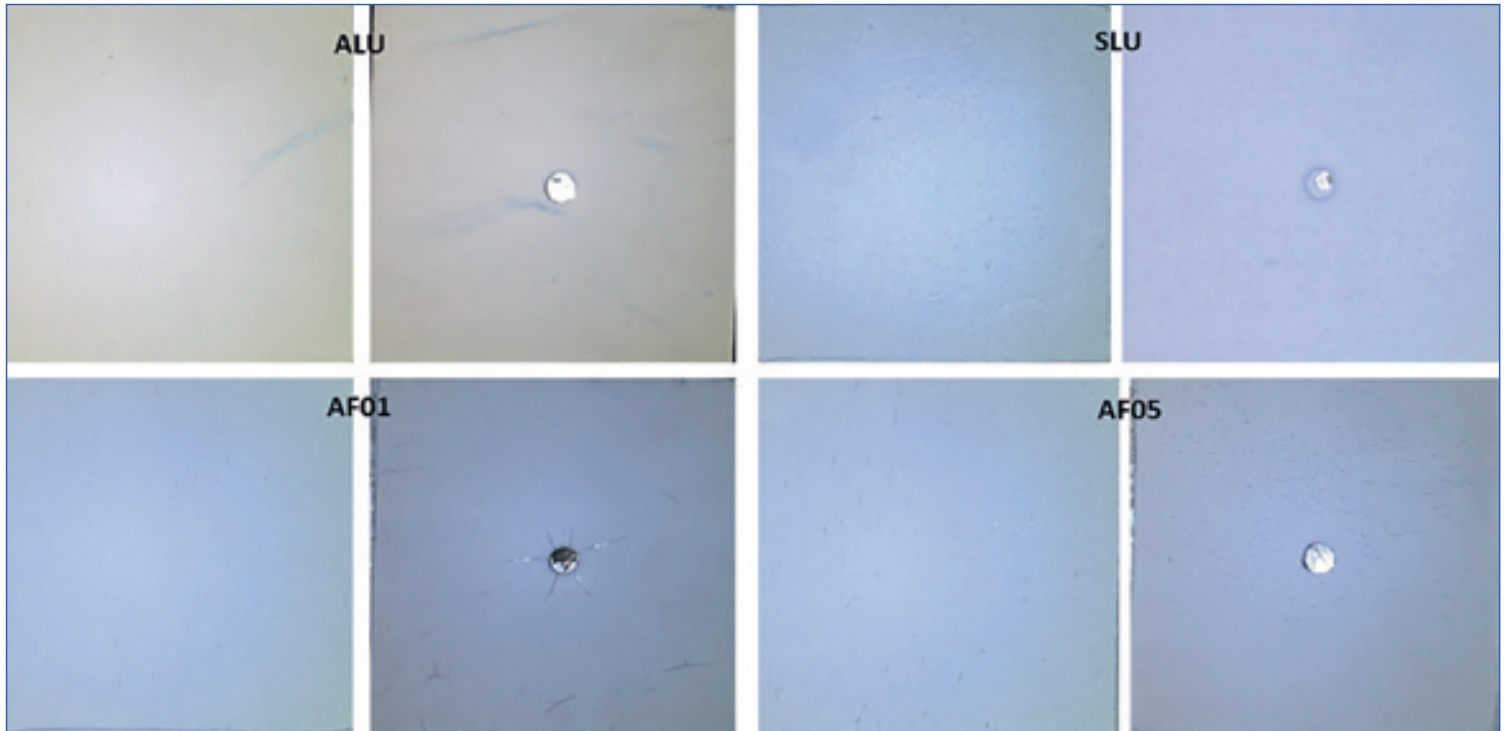


Figura 14. Evaluación visual de la película seca (Fuente: elaboración propia).

Se pueden destacar aspectos en cada una de las pinturas de base acuosa, por ejemplo, en el caso de la pintura ALU se produjo una contracción por secado evidenciada por la disminución del espesor observada en varias zonas de la misma. Las pinturas AF01 y AF05 tienen fisuras de diferentes magnitudes; por ejemplo, en el caso de la pintura AF01, son significativas y podríamos decir que es un macro-agrietado, frecuente en este tipo de pinturas, en las que la coalescencia no es adecuada bajo condiciones de alta velocidad de evaporación del agua. Esta falla ocurrió principalmente en la muestra preparada para el ensayo Taber Abraser y no se observó en la zona evaluada de la probeta de ensayo de WTAT. En cambio, en el caso de la pintura AF05, son fisuras frecuentes en los látices que se presentan en una mayor cantidad pero con un tamaño bastante menor. En el caso de la pintura de base solvente, no se evidenció este tipo de fallas.

4. Conclusiones

Con el ensayo Taber Abraser y el ensayo de Pulimento Acelerado se obtiene un patrón similar de comportamiento de los materiales, destacando que la pintura que tiene un mejor comportamiento en las condiciones de curado mencionadas es la AF05, a pesar de las fallas visuales observadas y de forma coincidente con lo esperado en base a las características de las resinas con las que está formulada.

Si bien es necesario continuar con el ensayo de Pulimento Acelerado para determinar un valor límite, incluso con otros materiales de demarcación vial se encuentra que es un ensayo que permite evidenciar el efecto del tránsito y el agua en las películas de pintura de demarcación vial, siendo preciso destacar que este ensayo permite evaluar 14 muestras en las mismas condiciones. En cambio, en el caso del ensayo WTAT, se tuvo una mayor dispersión en los resultados, pudiendo solamente dejar en evidencia el efecto de lavado en las pinturas de base acuosa.

Es importante poner de manifiesto que, en el caso de las pinturas de base acuosa, se debe tener la precaución de aplicar la pintura sobre el sustrato con una temperatura superior a la temperatura mínima de formación del film para evitar fallas de adherencia por este motivo.

Por lo tanto, de los métodos implementados, donde se desea considerar el efecto del agua y el tránsito en la película de pintura, se observa que el ensayo de Pulimento Acelerado ha obtenido resultados más homogéneos y coherentes con el comportamiento que se espera en base a los materiales empleados. Se encontró en este ensayo una herramienta eficaz en la valoración de los materiales base de demarcación vial, tanto por la rapidez del ensayo/adquisición de los resultados como por la posibilidad de ensayar varias pinturas simultáneamente bajo las mismas condiciones.

Referencias bibliográficas

- I. Babić, D., Burghardt, T. E. & Babić, D. (2015). Application and characteristics of waterborne road marking paint. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 5(2), 150-169.
- II. Cruz Alcalde, Alberto. "Optimización de pinturas decorativas base agua mediante aditivos dispersantes y espesantes." (2014).
- III. Giudice Carlos y Andrea M. Pereyra. "Tecnología de pinturas y recubrimientos." Universidad Tecnológica Nacional–Argentina (2009).
- IV. MOUTON, Yves. *Organic materials in civil engineering*. John Wiley & Sons, 2013. Mouton,(2013) apud BABIC, D., BURGHARDT, T., BABIC, D., "Application and characteristics of waterborne road marking paint", *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, v. 5, n. 2, pp. 150-169, Jun. 2015.
- V. Moreira, Helio y Menegon, Roberto. "Sinalização Horizontal" (2003).
- VI. Montebello, D., & Schroeder, J. (2000). Cost of pavement marking materials (No. MN/RC-2000-11).
- VII. Fares, H., Shahata, K., Elwakil, E., Eweda, A., Zayed, T., Abdelrahman, M. & Basha, I. (2012). Modelling the performance of pavement marking in cold weather conditions. *Structure and Infrastructure Engineering*, 8(11), 1067-1079.
- VIII. Albalate, D., Fernández, L. & Yarygina, A. (2013). The road against fatalities: Infrastructure spending vs. regulation. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 227-239.
- IX. Norma UNE-EN 1824/2012 "Materiales para señalización vial horizontal. Pruebas de campo".
- X. Norma UNE-EN 13197/2012 "Materiales para señalización vial horizontal. Simulador de desgaste. Mesa giratoria".
- XI. Norma IRAM 1221/2018 "Recubrimiento para demarcación de pavimentos. Pintura vial retrorreflectante y no retrorreflectante".
- XII. Norma UNE 135203-2/10 "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".
- XIII. Norma UNE 135203-1/2010 "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".
- XIV. NLT-174/93 "Pulimento acelerado de los áridos".
- XV. Norma ASTM D3910-90 "Standard Practices for Design, Testing, and Construction of Slurry Seal".
- XVI. Norma UNE EN 12802/2012 "Materiales para señalización vial horizontal. Métodos de laboratorio para la identificación".
- XVII. Alonso Felipe, Jose Vicente. "Pinturas, barnices y afines: composición, formulación y caracterización." (2016).
- XVIII. Chicago Society for Coatings Technology. Infrared Spectroscopy Committee. An infrared spectroscopy atlas for the coatings industry. Federation of Societies for Coatings Technology, 1980. ■