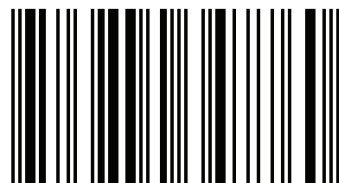


## Evaluación de un sistema de demarcación vial

La señalización horizontal es uno de los elementos viales que guarda mayor relación con la seguridad en la carretera, la misma le permite al conductor mantener al vehículo dentro del carril del tránsito 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 en la seguridad vial. La misma 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. El presente artículo analiza los resultados de las primeras experiencias en la aplicación del ensayo "Rueda Cargada" en probetas de hormigón sobre las que se aplica un sistema de demarcación vial constituido con pinturas acrílicas base acuosa y base solvente con la adición de microesferas de premezclado y sembrado.



Verónica Vanesa Mechura, Ingeniera Civil de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata. Docente investigadora de la UTN en el LEMaC, Centro de investigaciones viales. Hector Luis Delbono, PHD en ingeniería de materiales. Docente investigador Nacional categorizado. Profesor Adjunto Ordinario. Director de tesis de Grado y Posgrado.



978-3-8443-4776-0

editorial académica española



Verónica Vanesa Mechura · Hector Luis Delbono

## Evaluación de un sistema de demarcación vial

Primeras experiencias en la implementación del ensayo de rueda cargada sobre un sistema de demarcación vial

**Verónica Vanesa Mechura**  
**Hector Luis Delbono**

**Evaluación de un sistema de demarcación vial**



**Verónica Vanesa Mechura  
Hector Luis Delbono**

## **Evaluación de un sistema de demarcación vial**

**Primeras experiencias en la implementación del  
ensayo de rueda cargada sobre un sistema de  
demarcación vial**

**Editorial Académica Española**

**Imprint**

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: [www.ingimage.com](http://www.ingimage.com)

Publisher:

Editorial Académica Española

is a trademark of

International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group

17 Meldrum Street, Beau Bassin 71504, Mauritius

Printed at: see last page

**ISBN: 978-3-8443-4776-0**

Copyright © Verónica Vanesa Mechura, Hector Luis Delbono

Copyright © 2019 International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group

# INDICE

1 INTRODUCCIÓN .....	2
1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.2 MATERIALES UTILIZADOS EN LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL VIAL .....	5
1.2.1 MATERIALES BASE .....	6
1.2.2 MICROESFERAS DE VIDRIO .....	14
1.3 EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD .....	18
2 EVALUACIÓN DE LA PERFORMANCE EN RECUBRIMIENTOS DE DEMARCACIÓN VIAL .....	23
2.1 LUMINANCIA, EN ILUMINACIÓN DIFUSA; RETRORREFLEXIÓN.....	24
2.2 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO .....	29
2.3 EVALUACIÓN VISUAL DEL DESGASTE .....	31
3 EXPERIMENTAL.....	31
3.1 MATERIALES .....	32
3.2 METODOLOGÍA .....	35
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
5 CONCLUSIONES.....	48
6 REFERENCIAS.....	49



# 1 Introducción

La señalización horizontal es uno de los elementos viales que guarda mayor relación con la seguridad en la carretera, la misma le permite al conductor mantener al vehículo dentro del carril del tránsito 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 en la seguridad vial. La misma 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. Estas marcas representan una fracción importante de la señalización general del tránsito y no pueden ser reemplazadas por otros medios.

En general, las marcas viales cumplen un papel muy importante en la reducción de accidentes, además de guiar a los conductores el camino que deben seguir. Sus funciones son dirigir el tránsito y prevenir a los conductores de obstáculos puntuales.

Las marcas viales son superficies retrorreflectivas con la cualidad de reflejar gran parte del flujo luminoso que llega a ellas. Con el paso del tiempo, el tránsito y el clima las van deteriorando, por lo que requieren un cierto mantenimiento. [1][PANKAJ KUMAR (2014)]

Los estudios demuestran que, en general, la presencia de solo líneas centrales y de borde puede reducir los accidentes en un 20%. [2][Miller (1992) apud Babic et al.(2015), "application and characteristics of Waterborne road marking paint"]



## 1.1 Antecedentes

Antiguamente los egipcios hacían uso de las mismas resinas, pigmentos y arenas para señalar horizontalmente sus entradas. Los romanos colocaban ladrillos o piedras en el centro de las entradas para mantener a los carros en sus manos de dirección. Los incas y aztecas llegaron a señalar, con estos y otras señales, la superficie de sus entradas. Estos pueblos marcaron el comienzo en la utilización de materiales de señalización horizontal. La intensificación del desenvolvimiento de los materiales ocurrió después del advenimiento del automóvil, a fines del siglo XIX.

Al final de la década del 40, inicio de la del 50, la señalización horizontal comenzó a tener importante significado, debido a que la demarcación dirigía el flujo de vehículos, u otros vehículos rodantes y peatonales, dando origen al nacimiento de los materiales específicos del sector. [9][MOREIRA H., MENEGON R.(2003)]

En el 2007, bajo el nombre Señalización Horizontal: “Proyecto durabilidad” que surge de la necesidad de armonizar las reglamentaciones, normas, especificaciones y métodos de ensayo en el ámbito europeo para permitir la libre circulación de productos, [17] BLANCO M., CALAVIA D. y SANCHEZ M. desarrollaron un minucioso estudio sobre los distintos métodos utilizados para evaluar la durabilidad, en aquel momento, en diversos países; concluyendo que los métodos utilizados para evaluar los productos pueden ser Ensayos de Campo (norma UNE EN 1824/12) y Simuladores de desgaste (norma UNE EN 13197/12).

Actualmente, relacionado a los materiales utilizados BABIC [2] centra su estudio en las pinturas de señalización vial evaluando principalmente el comportamiento de los materiales contemporáneos de base acuosa.

Las pinturas son materiales muy utilizados a nivel mundial desde que se aplicaron por primera vez como línea central en 1911 en Michigan, EEUU. Todas las pinturas están compuestas por resinas (históricamente se han utilizado resinas de caucho clorado y más recientemente se tienen mezclas acrílico-estirenadas, alquídicas-acríticas o 100% acrílicas), pigmentos y cargas, solventes y numerosos aditivos. En diversas regiones, como parte del movimiento mundial para limitar las emisiones de VOC (Compuesto Orgánico Volátil) de modo de minimizar los efectos en la salud humana y buscar un mejor desempeño, las pinturas base solvente lentamente se están reemplazando por las pinturas base acuosa. [4][Mouton,(2010) apud Babic et al.(2015), “application and characteristics of Waterborne road marking paint”]

Las pinturas contemporáneas a base solvente se basan en resinas acrílicas que se disuelven en solventes orgánicos, en los países donde todavía está permitido aún se utilizan los solventes aromáticos (a pesar de su peligrosidad para el medio ambiente y la salud humana), debido a su menor precio, mejor control de secado y en general, mejor adherencia a superficies asfálticas. Después de la aplicación en espesores de película húmeda, no mayores a 600  $\mu\text{m}$ , la evaporación del solvente hace que el polímero se solidifique y por lo tanto, la película se forme por un fenómeno físico. El solvente sirve solo para hacer que la pintura sea líquida y luego escapa a la atmósfera, que en el caso de una pintura para señalización vial, con alto contenido de sólidos, el VOC alcanza los 400-500 g/l (aprox. 25%).

Con respecto a las pinturas base acuosa se debe aclarar que una propiedad casi exclusiva de ellas es la resistencia al lavado. En general, el tiempo que tarda en alcanzar la resistencia al lavado es mayor al tiempo de secado y dependen en gran medida del aglutinante, los aditivos utilizados y de las condiciones climáticas; siendo una propiedad crítica cuando hay riesgo de

lluvia. Las primeras pinturas viales de base acuosa sufrían un secado lento y tenían una resistencia muy lenta al lavado; luego se agregaron aglomerantes de fraguado rápido que condujeron a insertarla en el mercado.

El proceso genérico para prepararla es más complejo que para las pinturas base solvente ya que se incorpora una amina cuidadosamente seleccionada donde un alto pH asegura que la resina no precipite en un medio acuoso; tras la aplicación se produce la caída del pH, donde el amoníaco se evapora y el polímero se solidifica irreversiblemente (cambio fisicoquímico de estado), siendo ésta la mayor diferencia con las pinturas base solvente. El contenido de VOC de una pintura base acuosa típica para señalización vial es inferior a 50 g/l (aprox. 2%) según los aditivos utilizados. Generalmente, las pinturas base acuosa son compatibles con los pavimentos asfálticos y de hormigón, mostrando una sensibilidad sobre los que se encuentran recién construido. [5][Babic et al.(2015), “application and characteristics of Waterborne road marking paint”]

## **1.2 Materiales utilizados en la demarcación horizontal vial**

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 y materiales de post mezclado junto a las correspondientes instrucciones de aplicación. Los materiales base son las pinturas, termoplásticos y los plásticos en frío, de cuyas propiedades dependen los aspectos generales de su comportamiento; en el caso de los materiales de post mezclado, estas son las microesferas de vidrio (relacionadas con la retroreflexión de las marcas viales), áridos antideslizantes (para aportar o regenerar las propiedades antideslizantes de las marcas viales) y mezclas de ambos. Las instrucciones de aplicación pueden incluir la creación de una estructura que puede aportar propiedades

especiales de visibilidad en condiciones de humedad o de lluvia y efectos sonoros y mecánicos. [3][MINISTERIO DE FOMENTO]

### **1.2.1 Materiales Base**

Debido a que cada uno de los materiales base presentan características bien diferenciadas, se comentan las principales características y diferencias de cada uno de los productos según el tipo de material mencionado anteriormente.

#### **1.2.1.1 Pinturas**

Las pinturas de demarcación vial están constituidas por una parte inorgánica formada por partículas de pigmento y otros productos minerales llamados cargas, de naturaleza, forma diversa y granulometría muy fina; estos materiales particulados se encuentran dispersados en un medio líquido (vehículo) formado por una parte volátil (mezcla solvente orgánica o de base acuosa) y una parte no volátil (material formador de película, llamada también ligante, aglutinante o resina).

La resina cumple la función de aglutinar los pigmentos y cargas minerales, recubriendo las partículas de los mismos y proporcionando la adherencia al pavimento, mientras que los solventes cumplen la función de disponer el producto en forma líquida para su uso, otorgándole las propiedades requeridas para la aplicación (finalizada esta etapa, se eliminan del sistema por evaporación).

El pigmento es el responsable de proporcionar el color mientras que las cargas minerales, utilizadas finamente molidas (cuarzo, carbonato cálcico, etc.), son las responsables de las propiedades mecánicas de la película.

Como pigmento para el color blanco se usa el dióxido de titanio, debido a que presenta una buena resistencia a los agentes químicos ácidos o alcalinos y buen poder de cobertura (opacidad); el dióxido de titanio, el cual presenta dos formas cristalinas diferentes: Rutilo y Anatasa; el primero es un poco más amarillo pero presenta mejor resistencia a la intemperie y mayor poder de cobertura, siendo el más recomendado para el uso en demarcación vial. Con respecto a las pinturas amarillas, los pigmentos pueden ser orgánicos o inorgánicos; las pinturas que utilizan solventes orgánicos emplean pigmentos inorgánicos y las pinturas emulsionadas en agua utilizan pigmentos orgánicos, debido a que no presentan plomo ni cromo en su composición, que actualmente están prohibidos en países desarrollados. El pigmento amarillo inorgánico utilizado es el Cromato de plomo, que presenta buen poder de cobertura, pero tiene una tendencia al oscurecimiento cuando es expuesto a la intemperie. [9][MOREIRA H., MENEGON R. (2003)]

Las pinturas se clasifican según su proceso de secado como: de secado físico y de secado físico-químico. [3][MINISTERIO DE FOMENTO]

- Pinturas de secado físico

Secan por evaporación del disolvente formando la película en pocos minutos, adquiriendo una considerable dureza, dado que el polímero ya está formado, siendo las que menor tiempo de protección requieren para su puesta en servicio. Entre estas podemos mencionar:

- ***Acrílicas en disolvente***: el ligante está basado en monómeros acrílicos (acrílicas puras), o en una combinación con otros polímeros de distinta naturaleza como por ejemplo el estireno (acrílicas estirenadas), disueltos en disolventes orgánicos. Esta combinación de monómeros acrílicos con

el estireno, permite tener un precio más bajo y mejorar algunas propiedades, como la resistencia a las grasas.

Su principal característica es su rápido secado y endurecimiento en profundidad, alta persistencia y retención del color, además de poseer buena resistencia a la radiación UV y versatilidad de aplicación; que en el caso de las acrílicas puras, presentan un buen comportamiento sobre pavimentos bituminosos sin riesgo de “sangrado”, pero en cambio, son sensibles a grasas, aceites y disolventes orgánicos, así como son ligeramente sensibles a altas temperaturas y al manchado por los neumáticos de los vehículos.

- **Emulsiones acuosas:** el ligante es un polímero acrílico cuyas partículas son de menor tamaño que una micra y están emulsionadas en agua en presencia de sustancias tenso activas y coalescentes que favorecen la formación de la película cuando el agua se evapora.

El tiempo de secado es bastante mayor que el de las pinturas con disolventes orgánicos y se encuentra sujeto a las condiciones climáticas. La pequeña proporción de disolventes orgánicos que contienen hace que sean considerados como productos más respetuosos con el medio ambiente.

Durante los primeros días, su resistencia al desgaste es muy baja debido a que tarda en adquirir la dureza necesaria, por lo que se aconseja su aplicación en zonas en las que se circule antes de este periodo de tiempo, utilizándose frecuentemente en señalización aeroportuaria.

Se aplican muy fácilmente y una vez que han adquirido la dureza final, poseen buenas propiedades mecánicas y de retención de color, no producen efectos de sangrado sobre pavimentos bituminosos y pueden usarse directamente sobre pavimentos de hormigón. [3][MINISTERIO DE FOMENTO]

- Pinturas de secado físico-químico

Estas pinturas secan mediante dos procesos: la evaporación del disolvente y la polimerización del ligante, el cual comienza en el momento de aplicación. El primero de ellos es idéntico al caso de las pinturas de secado físico, mientras que el segundo provoca la formación de cadenas macromoleculares de ligante por un proceso reactivo que tiene lugar en presencia de otro componente (endurecedor), o con el oxígeno del aire en presencia de catalizadores (secantes), como en el caso de las resinas alquídicas.

La película solo adquiere su dureza final una vez que se ha completado este segundo proceso, lo que sucede después de un tiempo, el cual depende de la naturaleza del ligante y del tipo de reacción de polimerización, que puede oscilar entre unos minutos a varios días.

Las más empleadas son:

- ***Pinturas alquídicas***: el ligante es un producto que se obtiene por la reacción entre un alcohol polihidroxílico (como la glicerina o la pentaeritrita) y un ácido policarboxílico (como el anhídrido ftálico), combinados con ácidos de aceites secantes o semisecantes, los cuales se unen a las moléculas de resinas por esterificación durante la fabricación del compuesto para convertirse en parte integrante del polímero, proporcionándole flexibilidad y capacidad de adherencia.

En condiciones climáticas normales y temperaturas entre 15°C y 25°C, la película alcanza una dureza suficiente, para su uso en líneas longitudinales de vías interurbanas, en poco más de una hora, aunque su resistencia al desgaste es aún baja, lo que no la hace aconsejable en zonas urbanas. Una vez que ha curado completamente posee una excelente resistencia al desgaste y a los agentes químicos, muy superior

a las acrílicas, como así también una muy buena retención de las microesferas de vidrio.

- **Emulsiones acuosas autorreticulables de secado rápido:** En éstas el ligante está formado por monómeros acrílicos emulsionados en medio acuoso fuertemente alcalino, donde la presencia de otras sustancias provoca la formación de un polímero complejo cuando se reduce la alcalinidad por evaporación del amoníaco presente.

La transformación de los monómeros en emulsión en un film polimérico se produce por una reacción que consume parte del agua en poco tiempo, aún en condiciones ambientales desfavorables o alta humedad relativa.

En condiciones ambientales favorables pueden alcanzarse tiempos de secado de dos o tres minutos, por lo que su puesta en servicio se puede producir casi de inmediato y poseen unas excelentes propiedades de retención del color, buena resistencia a la intemperie, afinidad con las microesferas de vidrio y pueden aplicarse directamente sobre hormigón.[7][COVES GARCIA]

### **1.2.1.2 Termoplásticos**

Se trata de una mezcla compuesta por sustancias minerales de granulometría gruesa (hasta 700 micras), una resina y un plastificante, ambos en forma sólida granular o en escamas; contienen también microesferas de vidrio premezcladas, un aceite mineral especial que ayuda a controlar la viscosidad de aplicación y plastificar el conjunto y un pigmento que le da color. En Argentina se aplican estos materiales para demarcación horizontal desde mediados de la década de los '60.



Son utilizados normalmente para carreteras interurbanas y autopistas con elevado volumen de tránsito como líneas laterales perfiladas, bandas sonoras laterales y calles de tránsito intenso (líneas laterales, líneas de ejes centrales, flechas, símbolos, letras, sendas peatonales).

Los materiales de carga o áridos son de naturaleza idéntica a los utilizados con las pinturas, pero de granulometría mucho más gruesa. El pigmento es el dióxido de titanio en el color blanco, mientras que el cromato de plomo estabilizado, para soportar las altas temperaturas, es el utilizado en el color amarillo.

Las resinas empleadas pueden ser polímeros alifáticos de olefinas de cinco átomos de carbono, obtenidas de la destilación del petróleo y resinas derivadas de la colofonia. Los termoplásticos formulados con esta resina presentan buena estabilidad al amarilleo y óptima resistencia a la intemperie, pero poseen baja resistencia al aceite diesel, lo que perjudica su aplicación en las sendas peatonales debido a que se deterioran rápidamente por el goteo de los aceites de los vehículos. También se usan resinas alquídicas modificadas, maleíca y fenólicas, principalmente en climas cálidos y tropicales. En general, los termoplásticos obtenidos con estas resinas presentan buena estabilidad a la temperatura y óptima resistencia al aceite diesel, pero tienden al amarilleo en el color blanco cuando están expuestos a la intemperie.

Los termoplásticos carecen de disolventes, el calor fluidifica el producto (se calientan a temperaturas que varían, dependiendo del producto, entre 180°C y 220°C) permitiendo su aplicación. Una vez aplicado el producto sobre el pavimento se vuelven sólidos de manera inmediata, permitiendo la apertura al tránsito en poco tiempo. Las resinas según el caso, provienen de plantaciones de pinos o de destilados del petróleo, pero la necesidad de

calentarlos dos veces (fabricación y aplicación) aumenta significativamente el impacto ambiental. [5][Babic et al.(2015), "application and characteristics of Waterborne road marking paint"]

Es importante aclarar que el hablar de *termoplástico* en el ámbito de "señalización vial" tiene un significado diferente al contexto que se estudia en la química de los polímeros, en el caso de la demarcación vial su nombre hace referencia a que requiere energía térmica para su procesamiento.

El control de la temperatura de fusión y aplicación es fundamental donde un sobre calentamiento en la caldera produce separación de los componentes y alteración de las propiedades de la resina, lo que a su vez provocaría marcas de escasa duración. Por otra parte, una insuficiente temperatura de fusión provoca una falta de homogeneidad, lo que a su vez produce una mala adherencia del material al pavimento.

Tanto desde el punto de vista de sus constituyentes como de su comportamiento de uso, no hay diferencias significativas entre los distintos productos para clasificarlos por estos criterios. Por ello, se pueden clasificar, atendiendo el método de aplicación, en materiales aplicados por pulverización (Sprayplásticos) o por extrusión.

En el caso de los materiales aplicados por pulverización (Sprayplásticos), la masa del material previamente calentada de 180°C a 220°C, se aplica pulverizada como pintura líquida con pistolas especiales, produciendo un espesor de película que puede estar comprendido entre 1,2 mm a 1,7 mm, al tiempo que se proyectan a presión las microesferas de vidrio, las que deben penetrar adecuadamente. Estos se suelen emplear en las líneas de separación de carriles en zonas con alta intensidad de tránsito.

En el caso de los termoplásticos aplicados por extrusión, la masa de material se aplica sin presión, por “colada” o mediante dispositivos que colocan el material sobre el pavimento en la forma y dimensiones deseadas, una vez alcanzada la temperatura de aplicación, que suele ser ligeramente más baja que en el caso de la aplicación por pulverización. Se puede utilizar dispositivos en forma de caja que se arrastran sobre el pavimento, con una abertura en su parte posterior por la que sale el material de forma controlada, formando una línea muy uniforme, de geometría muy precisa, con un espesor de película que puede alcanzar los 3 mm y 4 mm. [3][MINISTERIO DE FOMENTO]

### **1.2.1.3 Plásticos en frío**

Los plásticos en frío consisten en un sistema de dos componentes donde los monómeros se mezclan con pigmentos y rellenos polimerizándose en la superficie del pavimento para formar la marca mediante el agregado de un iniciador de la reacción.

Sus constituyentes son genéricamente los mismos que los otros productos, con las particularidades de aplicación que cada una de las formas requiere. La resina base más utilizada es el metacrilato de metilo, que se utiliza disuelto en su monómero acrílico, el cual se polimeriza por la acción de un iniciador (peróxido de Benzoilo). También, principalmente en los materiales de aplicación manual, se emplean mezclas de resinas metacrilato y poliésteres.

No contienen disolventes y su tiempo de endurecimiento o curado es prácticamente independiente de la dosificación, sólo depende de la temperatura; incluso un aumento de la dosificación reduce el tiempo de curado, que en condiciones normales es inferior a 30 minutos.

El material se entrega listo para usar; es necesario mezclar los componentes hasta conseguir una perfecta homogeneidad y aplicar el producto antes de sobrepasar el tiempo de vida útil (variable dependiendo de la mezcla de los productos y de la temperatura), ya que endurece. Deben seguirse las instrucciones respecto a las proporciones de mezcla de los componentes, ya que una alteración notable puede reducir notablemente su durabilidad. [3][MINISTERIO DE FOMENTO]

Según BABIC et al. [5] si bien estos productos tienen un impacto ambiental mínimo en el momento de la aplicación y gozan de excelentes propiedades, para que se produzca la polimerización, se requiere una alta precisión de dosificación, equipo especializado y en general, por la sensibilidad a la humedad y la temperatura, requiere formulaciones especiales y/o un acelerador o retardador según sea el caso. Uno de los principales riesgos que se presenta en este tipo de pinturas son los monómeros, que son inflamables y pueden sufrir una polimerización incontrolada, lo que requiere un transporte especial y el iniciador debe estar claramente identificado.

Son adecuados para todo tipo de pavimentos, pero su adherencia es mejor sobre los asfálticos. Se clasifican los productos de acuerdo con el método de aplicación en plásticos en frío, de aplicación manual y de aplicación a máquina.

### **1.2.2 Microesferas de vidrio**

Las marcas viales son visibles durante la noche gracias a las microesferas de vidrio, ya que las líneas y símbolos devuelven una parte de la luz proveniente de los faros de los vehículos, constituyéndose por lo tanto en un elemento decisivo para la seguridad vial.

Estas microesferas de vidrio son partículas de vidrio transparente y esféricas que mediante la retrorreflexión de los haces de luz incidentes de los faros de un vehículo hacia su conductor, proporcionan visibilidad nocturna a las marcas viales. En este ámbito se usan dos tipos: una incorporada en la pintura (Microesferas Premezcladas) y la otra se siembra sobre la superficie (Microesferas Sembradas).

Por la importancia de su función en la visibilidad nocturna, las normativas sobre señalización caracterizan estos productos (para incorporar y sembrar), limitando su granulometría, el porcentaje de unidades defectuosas admisible, su resistencia a sales y otros agentes químicos y su índice de refracción. En el caso de las microesferas incorporadas por siembra, se especifica además la cantidad por metro cuadrado que debe añadirse sobre la marca vial para asegurar un nivel mínimo de calidad del factor de la retrorreflexión.

La granulometría elegida debe ser adecuada al espesor de la película del producto sobre el cual se aplican, ya que si son demasiado gruesas son arrancadas de la superficie rápidamente por las ruedas de los vehículos mientras que las finas se hunden en la película, sin que tengan un efecto inmediato en la visibilidad. Las propiedades de las que depende el grado de hundimiento de las microesferas pueden mejorarse mediante la aplicación de tratamientos superficiales. [3][MINISTERIO DE FOMENTO].

Existen 3 tipos de microesferas:

- Intermix: son las que se incorporan a la masa termoplástica durante la fabricación de modo de permanecer internas a la película aplicada, permitiendo la retrorreflexión sólo después del desgaste de la superficie, cuando las microesferas de vidrio quedan expuestas.

- **Premix:** son incorporadas en la pintura antes de su aplicación, de modo que permanecen internas en la película aplicada, exponiéndose después del desgaste de la superficie, permitiendo la retrorreflexión.
- **Drop On:** estas esferas son aplicadas por aspersión junto con la pintura o termoplástico de modo que permanecen en la superficie de la película aplicada, permitiendo una inmediata retrorreflexión de la demarcación. Cada tipo de microesferas tiene diferentes tasas de cobertura, dependiendo de su tamaño y/o gravedad específica. [9][MOREIRA H., MENEGON R.(2003)] Las drop on pueden ser tipo I, tipo III y tipo IV. Los tipos I y III son adecuadas para cualquier tipo de material, pero los tipo IV, debido a su tamaño superior, tienen que ir combinados con un material base más grueso que permita el embebido de la microesfera.

**Tipo I:** Fabricadas de vidrio reciclado; se utilizan en carreteras y tienen un índice de refracción de 1,5.

**Tipo III:** Fabricadas por materia prima virgen, con un índice de refracción de 1,9.

**Tipo IV:** Fabricadas de vidrio reciclado o directamente por fusión en caliente. Estas son de mayor tamaño y están autorizadas para uso en la industria de los aeropuertos.

La norma IRAM 1225/14, clasifica las microesferas según sean de premezcla como tipo P1, P2, P3 y de sembrado como tipo S1, S2, S3, S4 y S5, cumpliendo con curvas granulométricas límites. [8]

### 1.2.3.1 Tratamiento superficial

Actualmente se dispone de microesferas con tratamientos superficiales que tienen en cuenta las características de los materiales a los que van destinadas, tanto si son pinturas en base solvente como en base acuosa, permitiendo controlar el grado de hundimiento o “flotación” de las esferas en la película de material, para evitar su rápido desprendimiento.

También se realizan tratamientos superficiales para incrementar la adherencia, mejorando la retención de la esfera en la marca vial actuando como un verdadero adhesivo, para lo que se precisa un tratamiento con un producto de naturaleza afín a la resina del material de señalización. Con frecuencia ambos tratamientos de adherencia y flotación están presentes al mismo tiempo, haciendo al sistema más eficaz en la mayoría de los casos. [3][MINISTERIO DE FOMENTO]

Los tratamientos conocidos hasta el momento son:

- **Tratamiento de hidrofugación:** Se aplica a las microesferas de vidrio para evitar que absorban la humedad del aire.
- **Tratamiento de flotación:** Se aplica a las microesferas de vidrio, principalmente para permitir que estas floten cuando se aplican sobre materiales de señalización vial horizontal en fase líquida.
- **Tratamiento de adherencia:** Se aplica a las microesferas de vidrio para permitir una mayor adherencia entre éstas y el ligante, cuando las microesferas se aplican sobre materiales de señalización vial horizontal.

Es importante destacar que los tratamientos mencionados se realizan teniendo en cuenta el material base que se va a utilizar, obteniendo así las microesferas con tratamientos superficiales denominadas de las siguientes formas:

- TAF: Adherencia y Flotación para pinturas base solvente.
- WBP: Adherencia y Flotación para pinturas base acuosa.
- TRM: Adherencia para termoplásticos.
- BCP: Adherencia y Flotación para pinturas de dos componentes.

### 1.3 Evaluación de la durabilidad

Para evaluar los productos existentes en el mercado se encuentra el “*ensayo de referencia*” que si bien no se realiza bajo norma, es la forma en que se prueban diversos productos en la Argentina y otros países; el “*ensayo de campo*”, normalizado en Europa bajo la Norma UNE EN 1824/12; y, el “*Simulador de desgaste en mesa giratoria*” bajo la Norma UNE EN 13197/12.

El ***ensayo de referencia*** es muy utilizado en nuestro país para evaluar el comportamiento de los distintos productos existentes; consiste básicamente en aplicar el producto en un tramo de ruta y observar su evolución en el tiempo. CALAVIA [11] en su presentación en el Pre Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito de 2007, establece que el ensayo posee una alta validez ya que la posición de la marca vial está bien definida (en el centro de cualquier ruta de doble carril), la aplicación se realiza de una forma real y el número de pasos de rueda, que si bien no es muy elevado, refleja la realidad. Calavia destaca la pobre fiabilidad, baja repetitividad y nula reproducibilidad, ya que el resultado depende enormemente de la localización de la carretera de ensayo. El ensayo es válido para el caso en que la carretera en la que va a ser aplicada la marca vial resulte la misma o



fuera similar a aquella en la que se ha realizado; sumado a que en este método las medidas de comportamiento son difíciles y costosas de realizar.

En el caso del **Ensayo de Campo**, consiste en realizar las marcas viales de determinada manera, en un tramo de ruta con los productos a evaluar y estudiar el comportamiento en el tiempo. Fue utilizado en muchos países, como Dinamarca, Francia y Bélgica.

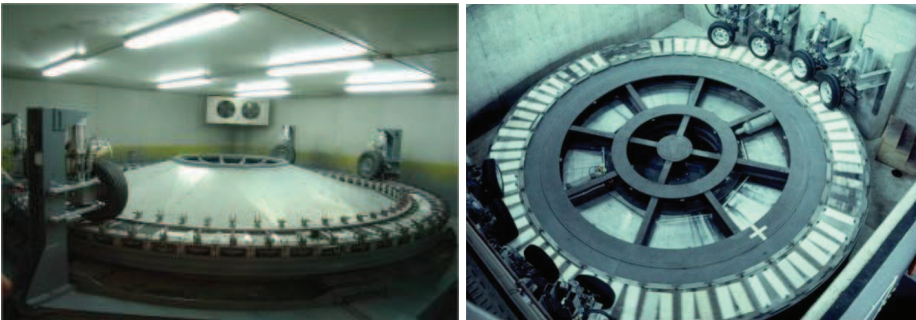
CALAVIA [11] en las conclusiones de su trabajo comenta que se tiene una menor validez que en el ensayo de referencia ya que se aplican de una forma en la que nunca se aplican en la práctica, solo funcionan un corto periodo de tiempo, paran y vuelven a arrancar, así sucesivamente; cuentan también con una pobre fiabilidad ya que el ensayo depende de la localización de la carretera de ensayo. Una ventaja que tiene es que el número de pasos de rueda puede variar en un amplio intervalo, haciendo posible encontrar correlación entre desgaste y comportamiento. Tiene el inconveniente que resulta costoso, por tal motivo en Francia, se utilizaron métodos como el de video-adquisición de datos o los sensores piezoeléctricos.

En la Figura 1, se muestra una imagen de un campo de ensayo.



**Figura 1.** Ensayo de campo [12] [Fors (2018), “Nordic certification system for road marking materials”].

Con respecto a los **simuladores de desgaste**, originalmente existían diversos simuladores según la antigua Norma EN 13197, pero luego de investigaciones realizadas en los inicios del año 2000, con la intención de unificar el ensayo de durabilidad, se determinó como válido solo la “**mesa giratoria**” como simulador de tránsito. Dicho equipo está conformado por una mesa giratoria (parte móvil), de aproximadamente 6 metros de diámetro externo, compuesta por 4 ruedas neumáticas que permiten aplicar una carga de 300 kg. Las probetas son colocadas sobre un mecanismo plano sobre la mesa, la cual realiza un movimiento relativo que permite que las ruedas pasen repetidamente sobre las probetas. En este ensayo se utilizan ruedas comerciales. La Figura 2, se muestran imágenes del dispositivo, disponible en España y Alemania.



**Figura 2.** Simuladores de desgaste. **Izq.:** AETEC España; **Der.:** Bast Alemania [fuente: [11][CALAVIA]].

Según el estudio mencionado de CALAVIA [11], el ensayo tiene una validez aceptable, teniendo en cuenta que el ensayo es artificial en el sentido de que las marcas viales no están expuestas al entorno real de una carretera y dicha validez será mayor o menor en tanto se pueda encontrar correlación entre los resultados en el simulador y las “situaciones reales” buscando por ejemplo reproducir la rugosidad de la carretera; pero que este ensayo presenta una gran confiabilidad debido a que en el simulador las condiciones de ensayo

pueden ser estrictamente controladas permitiendo repetitividad y reproducibilidad.

La performance en los ensayos de durabilidad se evalúa mediante la resistencia al deslizamiento con el uso del Péndulo inglés, la retrorreflexión, la luminancia y el color; finalizando el ensayo cuando los pasos de rueda superan determinado valor o algunos de los parámetros se encuentre por debajo del mínimo de aceptación.

En Argentina, la norma IRAM abarca el tema de demarcación en dos normas de referencia donde se establecen los requisitos y métodos de ensayo de las pinturas y microesferas de vidrio empleadas en la demarcación de pavimentos. La IRAM 1221/18 establece los Requisitos de las pinturas retrorreflectantes y no retrorreflectantes y, la IRAM 1225/2014 establece la Clasificación, los requisitos y los métodos de ensayo de las microesferas de vidrio que se emplean en la demarcación de pavimentos urbanos y viales.

En dichas normas se establecen las propiedades a evaluar sin tener en cuenta el concepto de durabilidad de las pinturas de demarcación. También es utilizado el “Manual de Señalamiento Horizontal” de la Dirección Nacional de Vialidad, donde se establecen principalmente los requerimientos geométricos y características a tener en cuenta en la aplicación de los productos, en las vías en la República Argentina.

En la búsqueda de un ensayo que permita tener un conocimiento del desgaste y el efecto que genera el tránsito sobre la demarcación horizontal, se optó por implementar ensayos utilizables en el ámbito vial, sobre las pinturas y sistemas de demarcación vial. Entre estos, se encuentra la técnica de los ensayos acelerados de pavimentos (APT), que es una moderna herramienta que permite evaluar estructuralmente los pavimentos y determinar la respuesta y comportamiento de los mismos bajo la aplicación

repetida, controlada y acelerada de cargas, en un corto período de tiempo. La ventaja de estos radica en que los ensayos son rápidos, confiables, reproducibles, económicos y generalmente pueden llevarse a cabo con una mínima interferencia del tránsito.

Una de las técnicas de APT es el ensayo de “rueda cargada” (WTT: Wheel Tracking Test) que se realiza en pavimentos asfálticos para determinar problemas de ahuellamiento. Este equipo permite determinar la resistencia a la deformación plástica de una mezcla bituminosa, tanto en los casos de proyecto de mezclas de laboratorio como en el de testigos extraídos de pavimentos. El ensayo consiste en someter una probeta de la mezcla bituminosa, al paso de una rueda metálica de 20 cm de diámetro, recubierto con 10 mm a 20 mm de caucho (dureza 80 Shore A), en condiciones determinadas de presión y temperatura, midiéndose periódicamente la profundidad de la deformación producida. El ensayo se realiza a 60°C. Los resultados obtenidos, para una temperatura y una frecuencia de ensayo dada, manifiestan la deformación acumulada y la velocidad de deformación expresada en mm/min, para diferentes periodos de tiempo. El ensayo se encuentra bajo la norma UNE EN 12697-22/03.

La idea de efectuar este trabajo es una consecuencia del mencionado análisis de las normativas y especificaciones técnicas que establecen los requerimientos a cumplir por la señalización horizontal en nuestro país, centrado en la necesidad de las empresas que aplican el producto y también de las que lo producen para establecer un valor de performance en los distintos productos. Por este motivo se implementa el ensayo de “Rueda Cargada” o WTT (Wheel Tracking Test) en probetas de hormigón sobre las que se aplica un Sistema de Demarcación Vial constituido por un material base y materiales de postmezclado con sus correspondientes proporciones de aplicación.

## **2 Evaluación de la performance en recubrimientos de demarcación vial**

Los requisitos esenciales de las marcas viales son sus características de visibilidad (diurna y nocturna), la resistencia al deslizamiento y de durabilidad; siendo características propias de cada sistema. [3][Ministerio de fomento]

Por lo tanto, se considera que para evaluar la performance de un sistema de demarcación vial, en el caso de que tengan microesferas premezcladas o sembradas (marca vial), es necesario evaluar la visibilidad diurna y nocturna mediante la luminancia en iluminación difusa y la retrorreflexión, respectivamente; y, en todos los casos, se evalúa la resistencia al deslizamiento y la comparación visual del desgaste producido.

Se destaca, que según el entorno de aplicación, existen propiedades más importantes a considerar, por ejemplo, en ciudades podemos mencionar que se tiene:

- Mayor exigencia con respecto al tiempo de secado.
- Mayores requisitos con respecto a la resistencia a la abrasión.
- Mayores requisitos con respecto a la resistencia al manchado.

Siendo en estos casos las más utilizadas las pinturas de secado físico y los plásticos en frío.

En cambio, en carreteras o autopistas, se considera que:

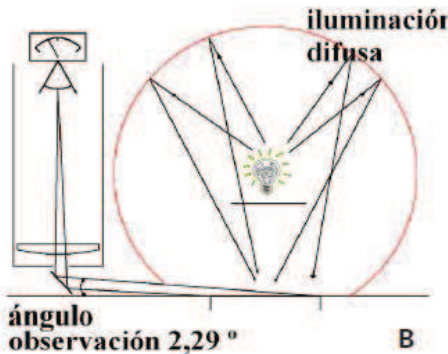
- La propiedad más importante es la visibilidad nocturna.
- La señalización se realiza normalmente con microesferas de vidrio, para proporcionar retrorreflexión nocturna.

## 2.1 Luminancia, en iluminación difusa; Retroreflexión

El coeficiente de luminancia, en iluminación difusa, representa el brillo de una marca vial tal como es percibida por los conductores de los vehículos, en las condiciones típicas o medias de iluminación diurna o alumbrado público. Este coeficiente es el cociente entre la luminancia de una superficie (L) observada en ángulo rasante e iluminación difusa y la iluminación sobre el plano de superficie (E). Se expresa en milicandelas por metro cuadrado y por lux.[3][MINISTERIO DE FOMENTO]

$$Qd = \frac{L}{E}$$

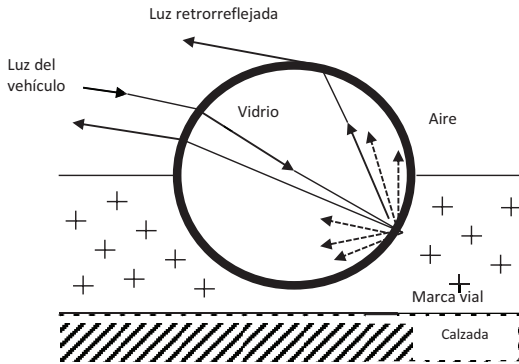
La Figura 3 presenta una geometría de la observación en iluminación difusa.



**Figura 3.** Geometría de iluminación difusa [3][MINISTERIO DE FOMENTO].

La visibilidad nocturna tiene lugar cuando la iluminación de la marca vial se realiza desde los faros del vehículo. Ésta se consigue mejorar mediante la incorporación de microesferas de vidrio ya sea por la técnica de premezclado o sembrado.

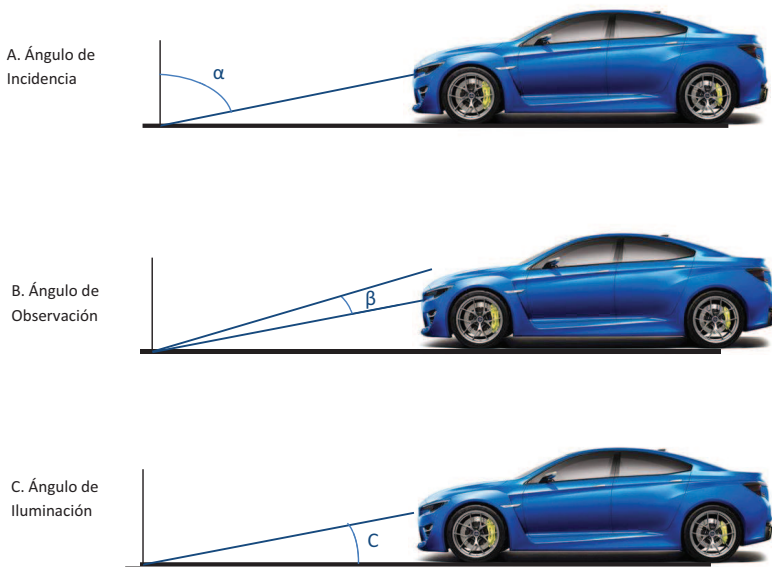
Puede demostrarse, a partir de las leyes de la óptica geométrica, que la mayor parte de la luz que llega a una esfera de vidrio insertada en una pintura blanca, retorna en la misma dirección en la que ha llegado. A este fenómeno se lo llama retrorreflexión y se ilustra en la Figura 4. [14][CALAVIA]



**Figura 4.** Fenómeno de retrorreflexión en una microesfera de vidrio [FUENTE: [14][CALAVIA]].

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

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) presenta definiciones de los términos utilizados en el campo de la reflexión de la luz. La Figura 5 ilustra las configuraciones correspondientes al ángulo de incidencia ( $\alpha$ ), al ángulo de observación ( $\beta$ ) y al ángulo de iluminación ( $\gamma$ ), que un vehículo manifiesta sobre la pintura de demarcación vial.



**Figura 5.** Configuración de los ángulos según CIE utilizados en el campo de la reflexión de la luz.

Para medir la retrorreflexión existen distintos equipos que simulan las condiciones en las que el conductor visualiza la demarcación vial en la noche. Como se ilustra en la Figura 5, existe un ángulo en el que las marcas viales son iluminadas por el vehículo y un ángulo de observación, que corresponde a la visual del usuario. Con base en los ángulos de iluminación y observación, se establecen valores mínimos de retrorreflexión que debe cumplir la demarcación vial horizontal, para ser visible en la noche.

La Comisión Europea de Normalización (CEN) propone una altura de 65 cm sobre el pavimento para el posicionamiento de los faros y de 120 cm para la posición de los ojos del conductor. Según la posición del elemento reflector, se encuentre situado a 15 m o 30 metros, los ángulos de observación



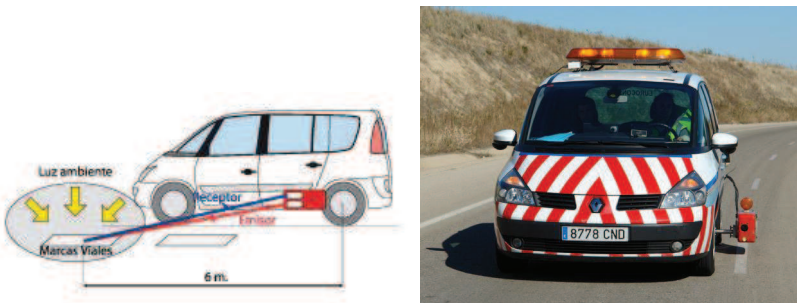
generados determinan la geometría del equipo como “de 15 metros” o “de 30 metros”. En diversas normativas se hace referencia a la retrorreflexión a 30 metros, entre ellas podemos nombrar la norma ASTM E 1710/18 y la norma UNE EN 1436/18, que si bien no lo explicita como retrorreflexión a 30 m, establece los ángulos correspondientes a dicha geometría. La Figura 6, indica La forma en que se deben tener en cuenta los ángulos, según la CIE, para indicar el ángulo de incidencia y el de observación.

$\alpha$ , ángulo de incidencia = 88,76°;  $\beta$  = ángulo de observación 1,05°



**Figura 6.** Fenómeno de retrorreflexión y geometría a 30 metros.

Existen numerosos equipos en el mercado que pueden clasificarse en portátiles y dinámicos, realizando medición en forma puntual o montada sobre un equipo en marcha. Esta última innovación en equipos, de los cuales un ejemplo es el EDODYN, Figura 7, han generado una profunda revolución debido a que pueden obtenerse datos de la visibilidad diurna y nocturna con un rendimiento de entre los 300 km y 600 km diarios de líneas.



**Figura 7.** Equipo Ecodyn para evaluación del nivel de visibilidad diurna y nocturna.

Con respecto a los equipos portátiles, existen varios equipos con distintas geometrías. Los valores proporcionados por cada uno de ellos varían considerablemente, y su proporcionalidad tampoco es lineal; existen equivalencias referidas a la geometría que reproduce la visibilidad a 30 metros. En la Tabla 1 se describen las distintas geometrías correspondientes a los equipos teniendo en cuenta la convención de ángulos indicada en la Figura 6.

**Tabla 1.** Ángulo de los equipos disponibles en el mercado [14].

Equipo	Angulo de iluminación	Ángulo de Observación	Angulo de incidencia	Observaciones
<b>LAZERLUX (equipo móvil)</b>	1,5°	1,0°	88,50°	
<b>Mirolux - 30</b>	1,24°	1,05°	88,76°	Nueva geometria CEN
<b>Ecolux, Mirlux-15, Retrolux</b>	3,5°	1,0°	86,50°	Empleada en Francia, EEUU y Argentina)
<b>ECODYNE</b>	3,5°	1,0°	86,50°	
<b>Optronik</b>	3,5°	1,5°	86,50°	Geometría utilizada en Alemania y España

En el caso del presente trabajo fue utilizado el Retrorreflectómetro disponible en la empresa BECHA S.A. situada en la ciudad de Rosario, Santa Fe,

Argentina, del tipo EASYLUX que brinda resultados a 15 m y 30 m, RL15 y RL30, siguiendo lo utilizado en la mayoría de los países y adoptando la nueva geometría CEN, se decide optar por la evaluación de la retroreflexión a 30 metros. Dicho equipo brinda también el valor de luminancia en iluminación difusa (Qd).



**Figura 8.** Equipo Retroreflectómetro horizontal Easilux.

Según WANG et. al. [15] la retroreflexión utilizada en EEUU es la de geometría a 30 metros, en dicho trabajo concluyen que la retroreflectancia mínima para un espectador es de  $150 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ .

## **2.2 Resistencia al deslizamiento**

Es sabido que una de las principales características que debe cumplir un pavimento es disponer de una adecuada superficie que asegure una buena adherencia con los neumáticos en todo instante y principalmente en zonas de frenado y curvas, cuando el pavimento se encuentra mojado, lo cual es fundamental para la seguridad de los usuarios. Para esto, uno de los métodos más utilizados es la utilización del péndulo TRRL (Transport Road Research Laboratory), Figura 9, que permite determinar un coeficiente de resistencia al deslizamiento en una superficie tanto “in situ” como en laboratorio.



**Figura 9.** Péndulo ingles TRRL del LEMaC.

Cuando se aplica una marca de pintura sobre la superficie, se modifica la microtextura de la superficie afectada, dependiendo esta modificación de la propia naturaleza de la marca y de su espesor. Las marcas viales generalmente alteran las propiedades superficiales del pavimento. A mayor dosificación (o mayor número de capas) menor calcado de la textura superficial sobre la marca. En todo caso la dosificación debe estar en equilibrio con la durabilidad.

La resistencia al deslizamiento se mide en unidades SRT tal como se especifica en la norma UNE EN 1436 mediante el Péndulo ingles TRRL, Figura 9, con la evaluación de la pérdida de energía que sufre el equipo sobre la superficie a ensayar. Esta medida nos da una idea de la microtextura. La lectura se observa directamente en la escala graduada que posee el dispositivo. El ensayo se realiza según norma IRAM 1555/98. Este ensayo es válido para marcas viales planas o con bajo nivel de rugosidad.

### 2.3 Evaluación visual del desgaste

Paralelamente al momento en que se implementa el ensayo de WTT, se buscó la manera de realizar una comparación visual de las muestras. Por ello se tomaron fotos en una cabina construida con una iluminación ubicada en la cara superior con una lámpara led de 6500 k de temperatura del color, para la toma de fotos simulando la luz diurna; en el caso de muestras con microesferas de vidrio, se tomaron las fotos con el flash de la cámara, con el tubo apagado. La Figura 10 muestra la imagen de la cabina diseñada para la comparación de las muestras estudiadas en este trabajo.



**Figura 10.** Cabina de inspección visual construida.

## 3 Experimental

Buscando valorar la performance de las pinturas, lo que en Argentina aún está en discusión, en cuanto a los métodos de ensayo a emplear en tal sentido, se comenzó implementando con lo siguiente:

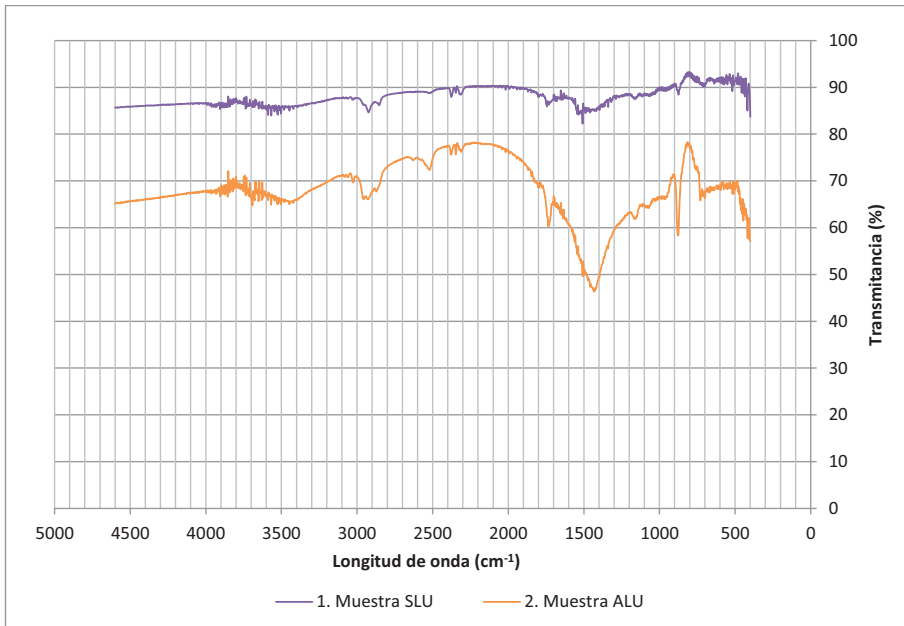
### 3.1 Materiales

Para el estudio se decidió comparar dos pinturas del mismo fabricante, una acrílica base solvente y otra base acuosa, ambas de color blanco, comercialmente disponibles. De ahora en más denominaremos a las pinturas del trabajo como:

- SLU: Pintura con solventes de secado rápido, basada en resinas acrílicas especiales. Utilizada para demarcar calles, avenidas, rutas y autopistas. La pintura sin el agregado de microesferas, según las especificaciones técnicas del fabricante, presenta un contenido de no volátiles en volumen de 51% y una densidad de 1,44 g/cm<sup>3</sup>.
- ALU: Pintura acrílica acuosa. Se utiliza para señalización de carreteras y otras aplicaciones especiales. No se encontró mayor información técnica del producto pudiendo solo deducirse de su ficha de seguridad que presenta una densidad de 1,70 g/cm<sup>3</sup>.

Como no se contó con suficiente información de las mismas, se decidió realizar una caracterización mediante un análisis de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) lo que permitió conocer en forma cualitativa la composición de la pintura. La Figura 11 presenta los espectros correspondientes a las pinturas en estudio.

En la Figura 11, se observa que ambas pinturas tienen picos en la zona superior a 3000 cm<sup>-1</sup> indicando que tiene estireno en su composición conformando una resina acrílica estirenada.



**Figura 11.** Espectro FTIR de las muestras utilizadas.

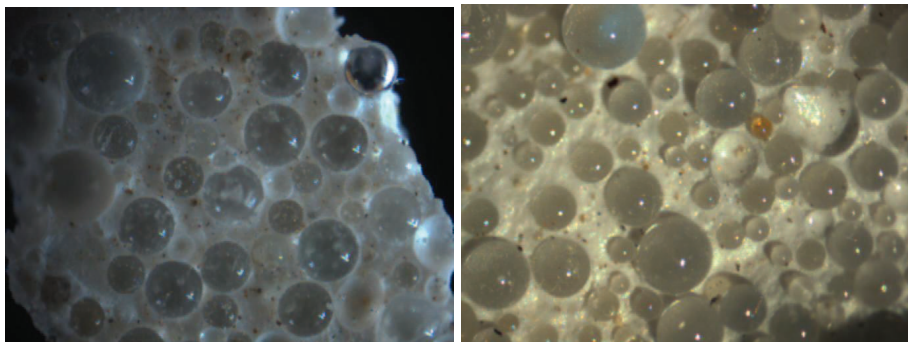
En la Figura 12 se muestran dos tipos de microesferas; en el caso de las microesferas sembradas corresponde a las que poseen un tratamiento superficial de adherencia y flotación, para su uso en pinturas base solvente.





**Figura 12. A:** Microesferas de premezcla tipo P1; **B:** Microesferas tipo S2, con tratamiento TAF (tratamiento de adherencia y flotación en aplicación sobre pintura con base a solvente).

La Figura 13, presenta la observación en lupa de las microesferas sembradas sobre la pintura base solvente.

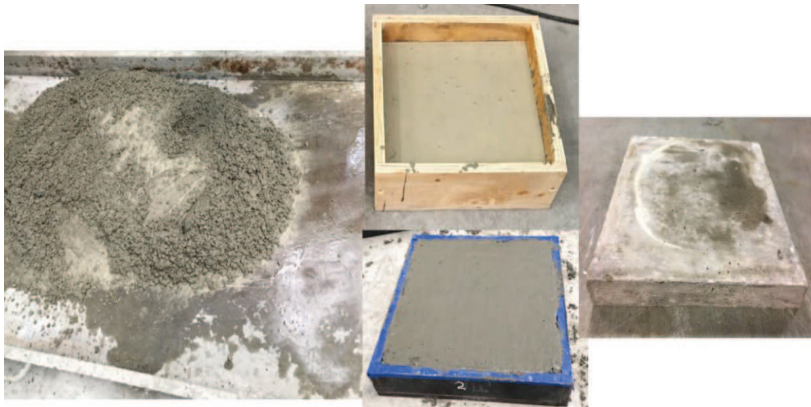


**Figura 13:** Imagen en lupa de las microesferas tipo S2, según norma IRAM 1225, con tratamiento TAF (tratamiento de adherencia y flotación en aplicación sobre pintura con base a solvente) aplicadas sobre la pintura SLU.



### 3.2 Metodología

La metodología de trabajo consiste en aplicar las pinturas para su estudio sobre hormigón, realizando el moldeo de placas de hormigón cuadradas de 30 cm de lado y 5 cm de espesor con una rugosidad RG1, según norma UNE EN 13036-1. Dicho hormigón está compuesto por cemento CPC 40, agregado grueso de tipo piedra partida granítica con tamaño máximo de 9,5 mm, arena silícea de trituración, Figura 14.

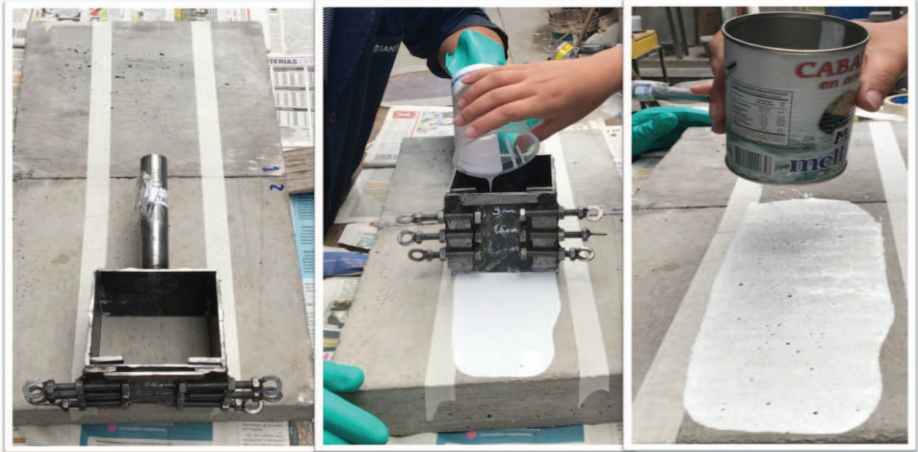


**Figura 14.** Moldeo de placas de Hormigón.

Luego se procede a pintar la superficie con las pinturas mencionadas en el punto 3.1., SLU y ALU, incorporando microesferas de premezclado tipo P1, según norma IRAM 1225, sin tratamiento previo en una proporción de 300 g/l y en franjas de 10 cm de ancho utilizando un dispositivo “plano”, Figura 15, que permite obtener un espesor uniforme de 0,6 mm en las muestras que se detalla en la Tabla 2; sin embargo, las muestras 3, 4, 5 y 6 fueron aplicadas con pincel.

En el caso de las probetas 1, 2, 5, 6, 13 y 14 luego de aplicada la pintura se siembran microesferas tipo S2, según norma IRAM 1225, con tratamiento

TAF (tratamiento de adherencia y flotación en aplicación sobre pintura con base a solvente) en una proporción de 500 g/m<sup>2</sup> con un dispositivo de tipo “salero”, Figura 15 .



**Figura 15.** Pintura de franja con dispositivo “plano” para obtener espesor uniforme y sembrado de microesferas con método de tipo “salero”.

En la Tabla 2, se detallan los materiales, pinturas y tipo de microesferas, empleados en cada una de las muestras.

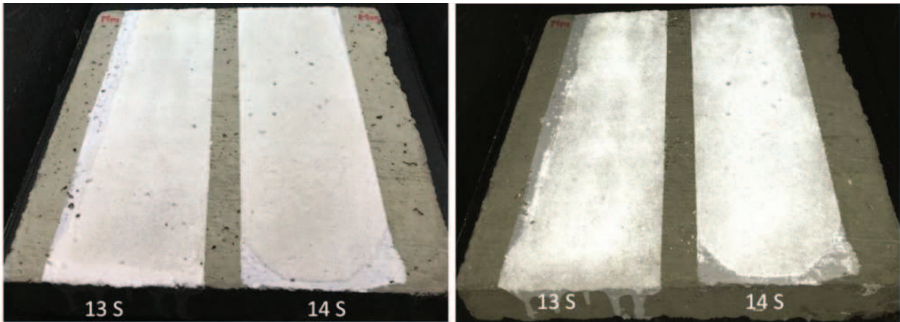
**Tabla 2.** Denominación de muestras y materiales utilizados.

Muestra	Pintura acrílica	Forma de aplicación de pintura	Microesferas de Premezclado	Microesferas de sembrado
1-S	Pintura SLU	Dispositivo	Microesferas P1	Microesferas S2 con TAF
2-S	Pintura SLU			
3-A	Pintura ALU	Pincel		
4-A	Pintura ALU			
5-S	Pintura SLU			Microesferas S2

6-S	Pintura SLU	Dispositivo		con TAF
7-S	Pintura SLU			
8-A	Pintura ALU			
9-S	Pintura SLU			
10-A	Pintura ALU			
11-S <sup>(*)</sup>	Pintura SLU			
12-A	Pintura ALU			
13-S	Pintura SLU			Microesferas S2
14-S	Pintura SLU			con TAF

<sup>(\*)</sup> El ensayo se repitió reiteradas veces hasta alcanzar los 100000 ciclos.

La cabina de evaluación visual, Figura 10, se empezó a utilizar a partir de las probetas 5 y 6. Se muestran las capturas de imágenes de las probetas con microesferas sembradas tomadas sin flash y con iluminación artificial, Figura 16A, y las que se tomaron sin iluminación artificial con flash, Figura 16B.

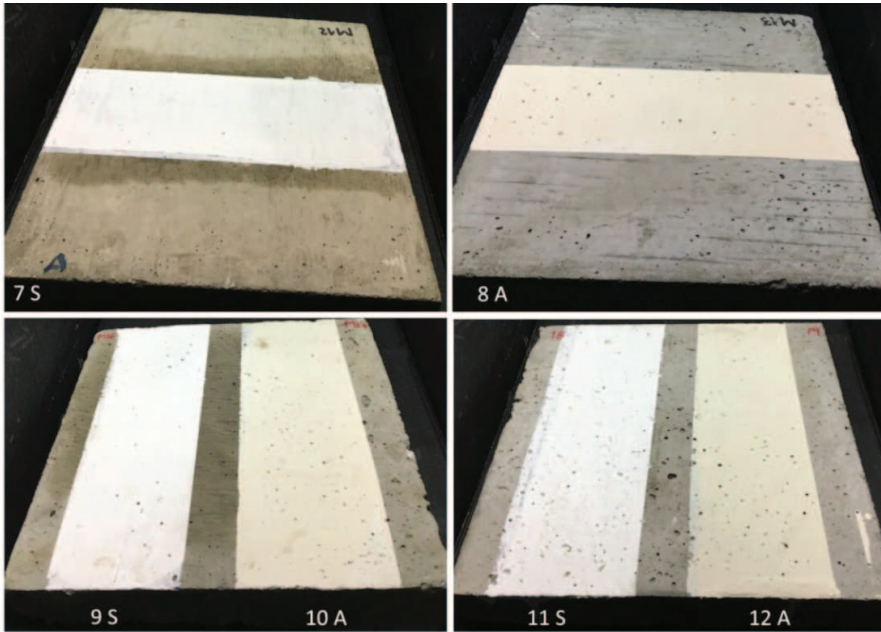


A. Imagen capturada en cabina con iluminación mediante lámpara LED, con cámara sin Flash

B. Imagen capturada en cabina con cámara con Flash sin iluminación adicional

**Figura 16.** Imagen tomada antes del ensayo de probetas con microesferas sembradas.

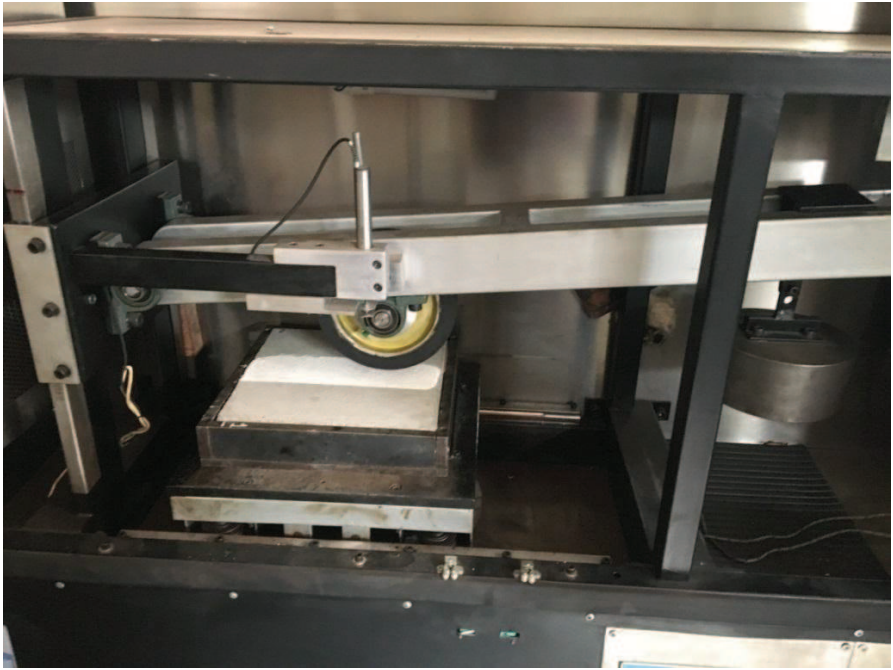
De las probetas con microesferas del tipo P1, se tomaron imágenes iniciales sólo con la iluminación artificial, las mismas se muestran en la Figura 17.



**Figura 17.** Imagen tomada antes del ensayo de probetas con pintura SLU (probetas 7S, 9S y 11S) y pintura ALU (probetas 8A, 10A y 12A) solo con microesferas del tipo P1 incorporadas en la pintura.

Mediante la utilización del Retrorreflectómetro, Figura 8, y péndulo inglés TRRL, Figura 9, se obtienen los valores iniciales correspondientes a Resistencia al Deslizamiento, Retrorreflexión y Luminancia.

Luego, para simular el desgaste en servicio, se implementó el equipo Wheel Traking Test (WTT), el procedimiento consistió en dejar en acondicionamiento las placas de hormigón (sustrato de base de aplicación de las pinturas) durante 2 horas a una temperatura de 60°C, Figura 18.



**Figura 18.** Equipo Wheel Tracking Test WTT del LEMaC.

Luego se procedió a aplicar una carga mediante el paso de una rueda, con cierta frecuencia, nivel de carga y a una temperatura definida de ensayo, para el estudio de los efectos combinados de tránsito y temperatura sobre la marca vial.

Las placas se alinearon sobre el simulador de desgaste de forma que las marcas viales sean paralelas al movimiento relativo de la rueda.

En cuanto al equipo WTT cumple con las siguientes características:

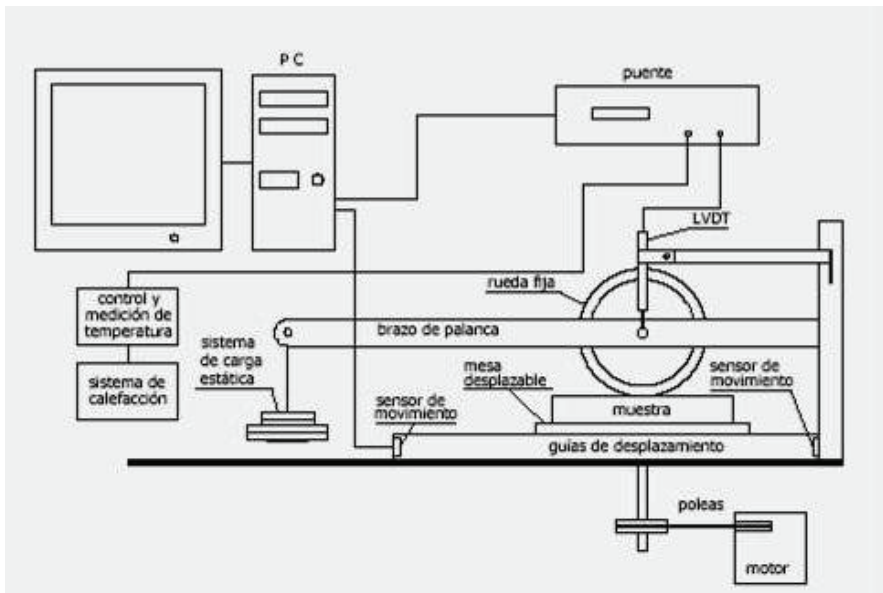
*Características de la rueda:*

- Diámetro: 20 cm
- Ancho: 5 cm

- Espesor 2 cm
- Dureza Shore A: 80
- Carga estática: 700 N

*Características generales del ensayo:*

- Recorrido: 23 cm
- Frecuencia: 26,5 ciclos/minutos
- Temperatura de ensayo: 60°C
- Largo de brazo: 1 m
- Dispositivo de control de temperatura
- Con termocuplas en el recinto
- Duración de cada ensayo 10000 ciclos



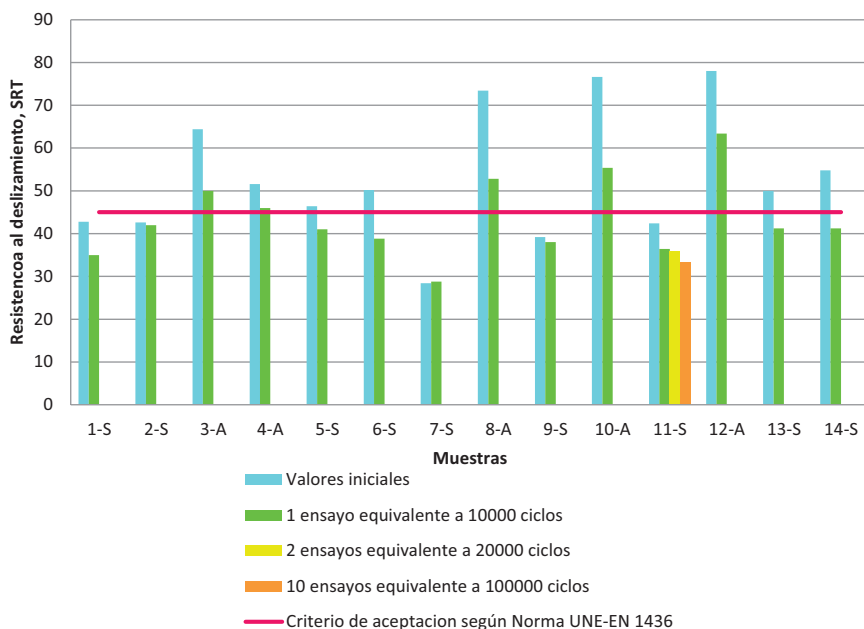
**Figura 19.** Diagrama del equipo de Wheel Tracking Test [19]

Se realizó el ensayo bajo dichas condiciones durante 10000 ciclos y se repite la evaluación de la performance, obteniendo los parámetros finales de Resistencia al Deslizamiento, Retrorreflexión y Luminancia; así como la nueva captura de imagen en las mismas condiciones dentro de la cabina, Figura 10, para inspección visual, de manera de poder establecer una comparativa anterior y posterior al ensayo sobre la pintura.

#### **4 Resultados y discusión**

En la normativa Argentina se ha encontrado una falta en la unificación de valores de referencia de retrorreflexión y resistencia al deslizamiento, por este motivo, se decide utilizar como referencia los límites establecidos en la norma española UNE-EN 1436/09 “Materiales para señalización vial horizontal”.

La Figura 20 presenta los resultados obtenidos en la evaluación de la resistencia al deslizamiento, cuya medida se basa en la pérdida de energía debida al rozamiento del patín sobre una longitud determinada de una superficie vial, con un valor mínimo para la aceptación de 45 SRT según la mencionada norma. Se destaca que en la misma se establecen diversos límites estando relacionados con las prestaciones del producto pero para el alcance del presente trabajo se considera sólo el valor mínimo necesario para la aceptación de la pintura.

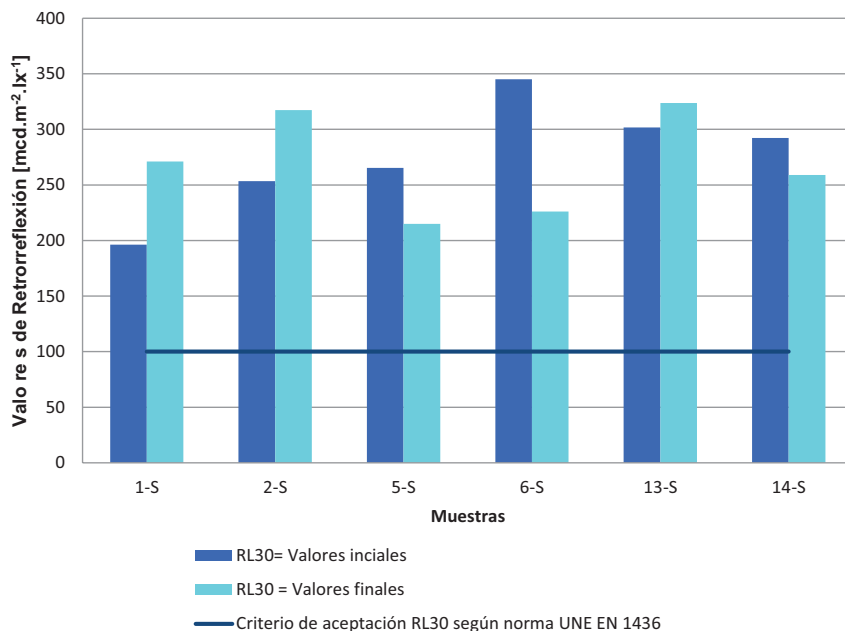


**Figura 20.** Resistencia al deslizamiento según norma UNE-EN 1436.

Las pinturas base acuosa cumplen con el criterio de aceptación, incluso después de 10000 ciclos de ensayo, correspondiente a 20000 pasadas de rueda. Por otro lado las pinturas base solvente, no siempre cumplen con este criterio. Se observa que, en el caso correspondiente a la muestra 11-S en la que se realizaron 100000 ciclos de ensayo, la mayor pérdida porcentual se tiene luego del primer ensayo ya que en los posteriores va disminuyendo paulatinamente.

En el caso de las muestras en las que se sembraron microesferas, se evaluó la retrorreflexión RL30, es decir con geometría “a 30 metros” generándose el gráfico de la Figura 21.

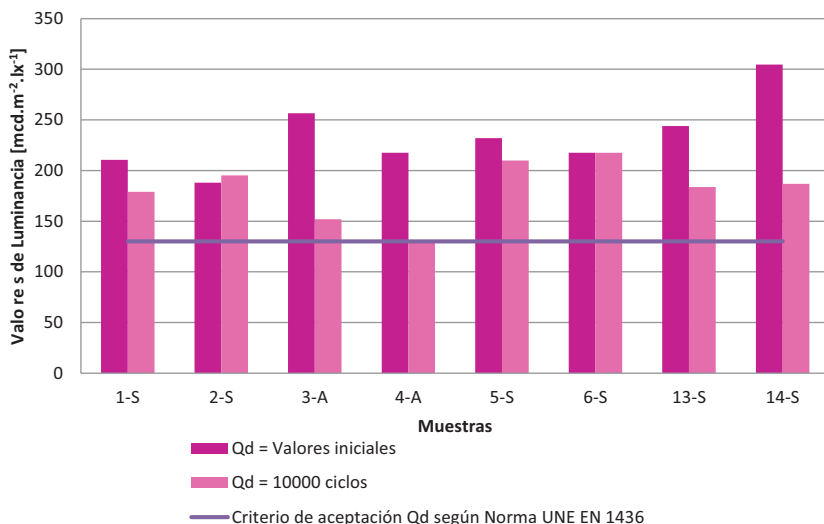




**Figura 21.** Retrorreflexión RL30 según norma UNE-EN 1436.

Con respecto a la retrorreflexión, es necesario continuar con el procedimiento debido a que se han tenido comportamientos iniciales dispares, se está trabajando en la forma de distribuir las microesferas de manera de obtener un sembrado uniforme con algún dispositivo del tipo tornillo sin fin. De todas formas, se puede observar que con la dosificación propuesta se han tenido valores elevados de retrorreflexión considerando que prácticamente en todos los casos, salvo en la muestra 1-S, el valor se mantuvo por encima de 200 mcd.m<sup>-2</sup>.lx<sup>-1</sup>.

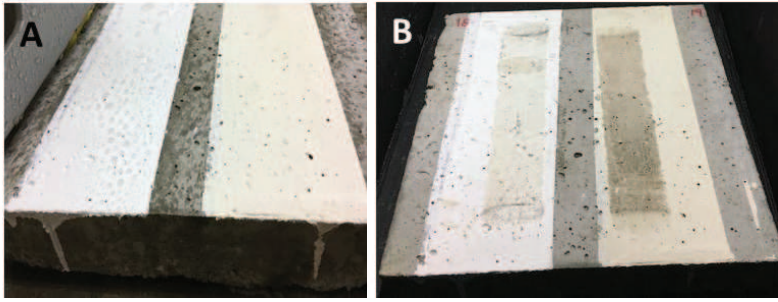
En las muestras 1-S, 2-S, 3-A, 4-A, 5-S, 6-S, 13-S y 14-S se verificó el valor de Luminancia, en iluminación difusa, en el período inicial y posterior al ensayo. Los resultados se presentan en la Figura 22.



**Figura 22.** Luminancia en iluminación difusa según norma UNE-EN 1436.

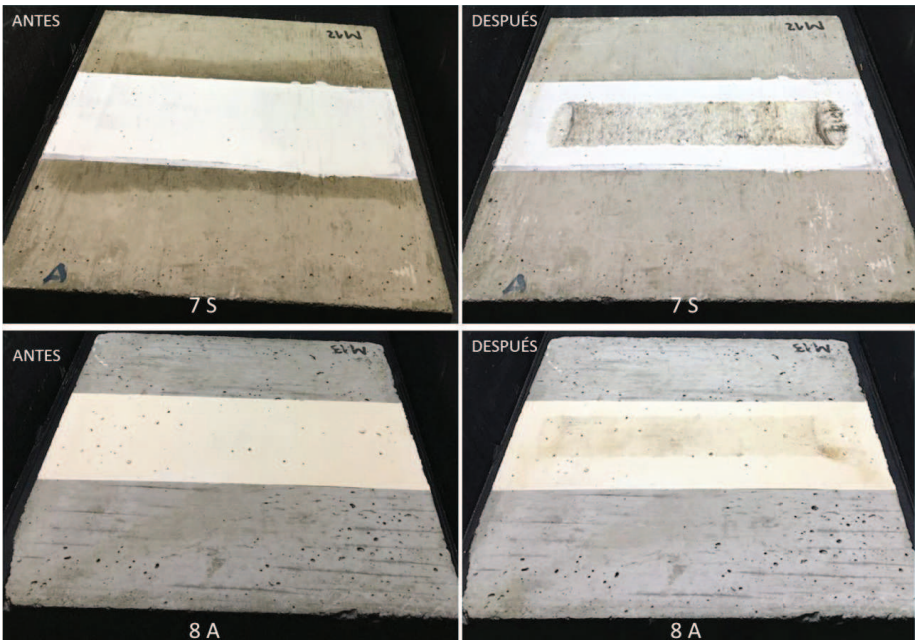
Se desprende que si bien la luminancia inicial es mayor en las pinturas base acuosa, se tiene una disminución del orden del 40 % luego del ensayo; en cambio, en el caso de las pinturas base solvente, los valores son menores y posteriormente se mantienen en el rango de alrededor del 10 % del valor en la mayoría de las probetas, salvo en el caso de las probetas 13-S y 14-S cuya pérdida es bastante superior. Este comportamiento es coherente con la evaluación visual del material, donde la pintura base solvente forma una película más brillante y con un comportamiento hidrofóbico, observado al humedecer la superficie para realizar el ensayo de resistencia al deslizamiento, según puede observarse en la Figura 23A.

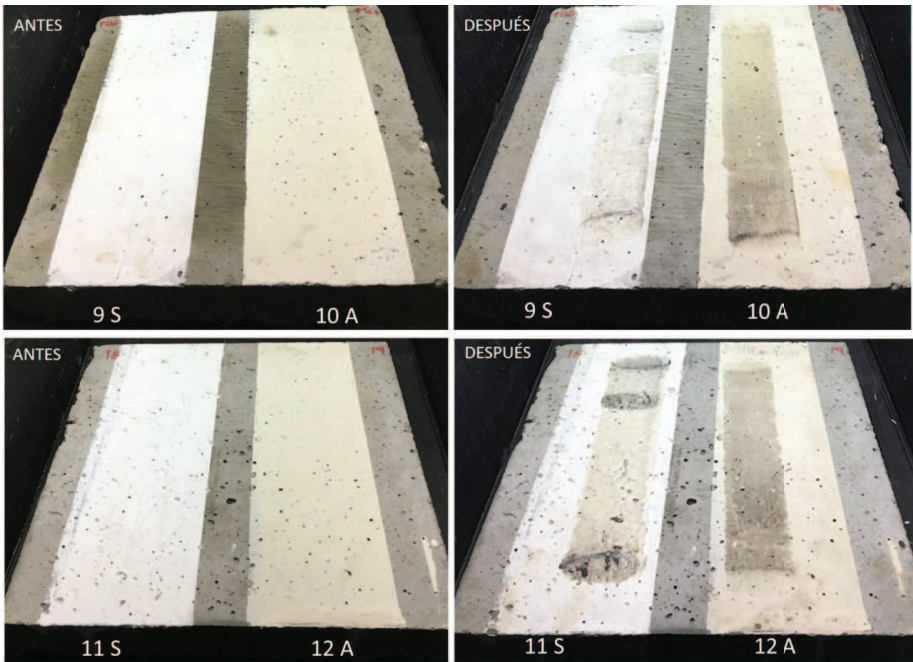
En ambas fotos de la Figura 23, se presenta una comparación de los dos tipos de pintura; la franja de la izquierda corresponde a la pintura base solvente y franja de la derecha corresponde a la pintura base acuosa.



**Figura 23 A:** Comportamiento de la pintura base solvente (izq.) y base acuosa (der.) frente al rociado del agua; **B:** Comparación visual posterior a ensayo de la pintura base solvente (izq.) y base acuosa (der.).

A continuación se muestra la comparación visual realizada en la cabina, Figura 10, de las muestras 7-S, 8-A, 9-S, 10-A, 11-S, 12-A (Figura 24), y las muestras 13-S y 14-S (Figura 25).

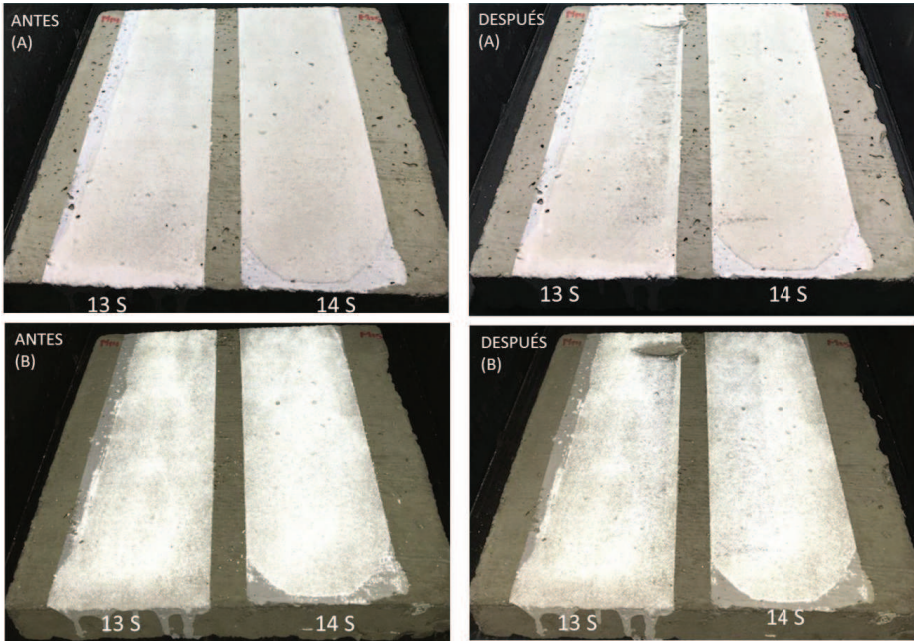




**Figura 24.** Comparación visual antes y después del ensayo WTT sobre probetas 7-S, 8-A, 9-S, 10-A, 11-S, 12-A, 11-S, 12-A.

Se puede observar que en todos los casos la pintura acuosa es de un “blanco” distinto a la base solvente y que la misma, salvo en el caso de la probeta 8-A, se mancharon de forma más uniforme con el caucho de la rueda.

Con respecto a la pintura base solvente se tuvo un comportamiento distinto, las muestras de pintura base solvente se ablandaron con la temperatura de ensayo (60°C). Estas muestras también se mancharon con el caucho de la rueda, pero al ablandarse la muestra de pintura, las marcas se produjeron de forma más pronunciada en las zonas donde la rueda cambia la dirección (en los extremos) notándose también de forma más notoria el cambio en la textura superficial debido al comportamiento de la pintura.



**Figura 25.** Comparación visual antes y después del ensayo WTT sobre probetas 13-S y 14-S. Imagen superior (A): Imagen capturada en cabina con iluminación mediante lámpara LED, con cámara sin Flash. Imagen inferior (B): Imagen capturada en cabina con cámara con Flash sin iluminación artificial.

En el caso de las muestras con microesferas incorporadas, Figura 25, solo la muestra 13-S presentó evidencia de ablandarse en la zona del extremo en que donde pasa la rueda; no evidenciando marcas de caucho.

Según se observa en la Figura 24 y en la Figura 25, de las muestras posterior al ensayo, en ninguna de las franjas ensayadas se tuvo un comportamiento como el ilustrado en la norma ASTM D-913/15 (utilizada para evaluar el deterioro por abrasión o desprendimiento como consecuencia

del pasaje de vehículos), donde se establecen patrones con distinto grado de deterioro para comparación visual. No se presentó este tipo de falla en los casos evaluados.

## **5 Conclusiones**

Del estudio del ensayo se desprende que se debe evaluar la condición de resistencia al deslizamiento en los productos comercializados en nuestro país, debido a que en algunos casos se ha encontrado que no cumplen los requisitos mínimos; considerando que se debe tener en cuenta en el caso de la aplicación sobre sendas peatonales, donde se considera más crítico dicho parámetro.

No se presentó falla por abrasión o desprendimiento según lo describe la norma ASTM 913.

En las primeras experiencias realizadas observamos que el ensayo brinda información sobre la variación de la resistencia al deslizamiento y el comportamiento de la pintura en cuanto a la luminancia, desprendiéndose que en este tipo de pinturas acrílicas base acuosa, tienen una disminución importante de los parámetros iniciales.

En el caso de la retrorreflexión no se puede arribar a conclusiones pero se considera que es necesario repetir el ensayo con un dispositivo que permita un sembrado uniforme de las microesferas.

Para arribar a una conclusión global, es necesario realizar tramos de prueba con estos productos en diferentes dosificaciones, para así poder realizar una comparativa del comportamiento entre los resultados de laboratorio y la aplicación real. Este proceso se está llevando adelante mediante la

demarcación horizontal sobre pavimento asfáltico y pavimento de hormigón, a través de convenio con una empresa que aplica las pinturas y el permiso de Vialidad Nación, colocando contadores de tránsito en ambos sectores, para evaluar los distintos parámetros obtenidos en laboratorio, de los requisitos sobre las pinturas, y poder arribar a una correlación entre los mismos. Este trabajo está enmarcado en la Tesis Doctoral “Nuevas tecnologías en recubrimientos retroreflectantes para demarcación vial” del Doctorado en Ingeniería, mención Materiales de la Universidad Tecnológica Nacional.

## **6 Referencias**

[1] KUMAR, Pankaj, et al. Automated road markings extraction from mobile laser scanning data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2014, vol. 32, p. 125-137.

[2] Miller (1992) 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.

[3] MINISTERIO DE FOMENTO, “Guía para el proyecto y ejecución de obras de señalización horizontal”, 1 ed., España, Centro de Publicaciones Secretaria general Técnica Ministerio de Fomento, 2012.

[4] Mouton,(2010) 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.

[5] 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.

[6] STUART, Barbara. “Infrared spectroscopy”. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 2005.

[7] COVES GARCIA J., “Análisis de la Visibilidad y la Resistencia al Deslizamiento de las Marcas Viales Retrorreflectantes en Carretera Convencional, Tesis D.Sc., Universidad de Alicante, España, 2016.

[8] IRAM 1225/14 Recubrimientos para demarcación de pavimentos.

[9] Helio Moreira, Roberto Menegon Señalización Horizontal, 2003.

[10] Normas UNE EN 1824/12 “Materiales para señalización vial horizontal. Pruebas de campo”, UNE EN 13197/12 “Materiales para señalización vial horizontal. Simuladores de desgaste. Mesa giratoria”.

[11] CALAVIA David, “Durabilidad de la demarcación horizontal. Experiencia en la Unión Europea”, SAFECONTROL S.A., Buenos Aires, 2007.

[12] FORS, Carina; JOHANSEN, Trond Cato; LUNDKVIST, Sven-Olof. Nordic certification system for road marking materials. 2015.

[13] Norma IRAM 1221/18 “Pintura reflectante para demarcación de pavimentos”, Norma IRAM 1212/71 Recubrimientos termoplásticos reflectantes para demarcación.



[14] CALAVIA D., “Demarcación horizontal – Seguridad vial – La visibilidad de las marcas viales –Aspectos fotométricos– Retrorreflexión”. Revista Carreteras.

[15] PENG, Lei; SU, Wen Ying; WANG, Zhen Hua. Research on valid serve life of pavement marking in urban area. En Advanced Materials Research. Trans Tech Publications, 2013. p. 578-583.

[16] Norma UNE-EN 1436:2009 “Materiales para señalización vial horizontal”

[17] CEN TC 226 WG. 2 Horizontal Signalisation: “Durability Project “Part 2 - Report for the wear simulator tests. Report presented by CEDEX (Manual Blanco); AETEC (David Calavia) and UCM (Miguel Sánchez) – SPAIN

[18] Norma IRAM 1555/98 “Agregados. Determinación del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo TRRL.

[19] LEMaC, “Valoración del desempeño de una mezcla asfáltica densa modificando el tipo de filler y asfalto”, 2015.





**More  
Books!** 



**yes**  
**I want morebooks!**

Buy your books fast and straightforward online - at one of the world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at  
**[www.get-morebooks.com](http://www.get-morebooks.com)**

¡Compre sus libros rápido y directo en internet, en una de las librerías en línea con mayor crecimiento en el mundo! Producción que protege el medio ambiente a través de las tecnologías de impresión bajo demanda.

Compre sus libros online en  
**[www.morebooks.es](http://www.morebooks.es)**

SIA OmniScriptum Publishing  
Brīvības gatve 197  
LV-103 9 Rīga, Latvija  
Telefax: +371 68620455

[info@omniscrptum.com](mailto:info@omniscrptum.com)  
[www.omniscrptum.com](http://www.omniscrptum.com)

OMNI Scriptum



