

NUMERO 17, MAYO DE 2023

# TESIS DE BECARIOS DE INVESTIGACION

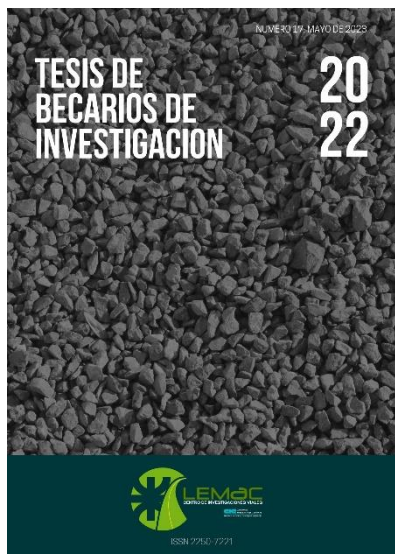
# 20 22



ISSN 2250-7221



**TESIS DE BECARIOS DE INVESTIGACION**  
**ISSN 2250-7221 | N° 17 | MAYO 2023**



Sitio Web: <https://lemac.frlp.utn.edu.ar/>

e-mail: [lemac@frlp.utn.edu.ar](mailto:lemac@frlp.utn.edu.ar)

Se encuentra registrada en las siguientes bases de datos:  
**BINPAR** (Bibliografía Nacional de Publicaciones Periódicas Registradas) del CAICYT CONICET, (Argentina); Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal **Latindex** (México).

**Director:**

Dr. Ing. Gerardo Botasso

**Subdirector:**

Dr. Ing. Julián Rivera

**Responsables de Áreas:**

Tecnología de los pavimentos flexibles:  
Ing. Enrique Fensel

Tecnología de los pavimentos rígidos y estructuras:  
Ing. Marcelo Barreda

Gestión y diseño vial:  
Dr. Ing. Julián Rivera

**Corrección de estilo y Diagramación:**

Arq. Gustavo Das Neves

Se presentan en este número las memorias sintéticas de la Tesis de Becarios 2022 efectuadas en el LEMaC. Como sucede todos los años, cada Alumno Becario cuenta con el apoyo de al menos un Docente Investigador del LEMaC, cumpliendo el rol de Director de Tesis. Si bien estos últimos intervienen en la redacción de las memorias de cada trabajo, son los Becarios los encargados finales de las mismas, revistiendo en la mayoría de los casos su primera publicación de un trabajo técnico. Comúnmente estas memorias son luego adaptadas y ampliadas en su redacción, para pasar a formar parte, en forma aislada o en conjunto con otros estudios asociados, de publicaciones en Reuniones Científicas o Revistas Indexadas, dada su pertenencia a una línea de estudio o un proyecto I+D del LEMaC.

## INDICE

	página
<b>PRIMERAS EXPERIENCIAS EN LA IMPLEMENTACION DEL ENSAYO DE ABRASION POR VIA HÚMEDA APLICADO A MARCAS VIALES.</b> Ibañez Diaz, Maria; Mechura, Verónica.	5
<b>VALORACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE TEMPERATURA ENTRE CAPAS DE UN PAVIMENTO CON Y SIN LA INTERPOSICIÓN DE UN GEOSINTÉTICO.</b> Obregón Hug, Tatiana; Delbono, Luis.	13
<b>VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DESGASTE EN AGREGADOS GRUESOS GRANÍTICO-ANFIBÓLICOS.</b> Lunasco, Osvaldo; Lajoinie, Florencia.	21
<b>DETERMINACIÓN DE SUPERFICIES ESPECÍFICAS EN LA GRANULOMETRÍA DE POLVO DE NFU USADOS EN LA MODIFICACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS. PARTE II.</b> Battista, Mirco; Fensel, Enrique.	27
<b>ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN CRITICA DE FILLER CAL EN DISPERSIONES DE ASFALTO CON POLVO DE NEUMÁTICO FUERA DE USO.</b> Gelsi, Agustina; Zapata Ferrero, Ignacio.	35
<b>PUESTA A PUNTO DE LOS EQUIPOS AUTOMATICOS DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO Y PENETRACION DE LOS ASFALTOS.</b> Nuñez, Maia; Rebollo, Oscar.	43
<b>DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE.</b> Moroni, Juan; Barreda Marcelo.	51
<b>AUDITORIAS SOBRE LAS CICLOVÍAS Y BICISENDAS DE LA CIUDAD DE LA PLATA.</b> Abraham, Beatriz; Das Neves, Gustavo	57



# PRIMERAS EXPERIENCIAS EN LA IMPLEMENTACION DEL ENSAYO DE ABRASION POR VIA HÚMEDA APLICADO A MARCAS VIALES

**Becario/s:** Ibañez Diaz, Maria Cruz. (Mariacruz18@live.com.ar)

**Director/res:** Mechura, Verónica Vanesa (vmechura@frlp.utn.edu.ar)  
LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP-CIC PBA, Argentina.  
lemac@frlp.utn.edu.ar

**Área:** Gestión y Diseño Vial.

**PID Asociado:** “Implementación de ensayos viales en materiales de demarcación horizontal”. (TVFALP0008559)



## Resumen

La señalización vial debe presentar una buena visibilidad diurna y nocturna (retroreflectibilidad) en el tiempo, ya que ambas están asociadas a la seguridad del conductor. En este proyecto se busca estudiar la durabilidad y comportamiento de las microesferas de vidrio a partir del ensayo por abrasión húmeda mediante el uso del equipo usado en el ámbito vial para lechadas asfálticas. Para la evaluación se utilizan probetas conformadas de chapas de acero cincada de forma cuadrada con un recorte en la esquina, sobre la que se aplica una marca vial conformada con pintura base acuosa (P1) y pintura base solvente (P2). Estos ensayos implementados resultan de simple ejecución y brindan resultados sobre las propiedades esenciales en el tiempo que se pueden contrastar con imágenes obtenidas tanto en lupa como en una cabina para tal fin.

**Palabras clave:** marca vial-abrasión-retroreflexion-resistencia al deslizamiento.

## 1. Introducción

Un sistema de demarcación vial se obtiene al combinar un material base, ya sea pintura (base acuosa o solvente), termoplástico o plástico en frío, con microesferas de vidrio. Las mismas pueden ser incorporadas o sembradas sobre la superficie y brindan la visibilidad nocturna. Las características visuales de la demarcación son de suma importancia ya que aseguran que el conductor vea las señales con suficiente tiempo para realizar de manera segura las maniobras sin poner en riesgo su seguridad y la de terceros.

Desde el punto de vista de la seguridad vial, las rutas, tanto urbanas como rurales, presentan condiciones particulares que pueden aumentar el riesgo de ocurrencia de accidentes de tránsito, sobre todo durante la noche. Además, cabe destacar que el material base por sí solo no es retrorreflectivo, por lo que de noche sin microesferas no tienen el efecto deseado [1].

Autores como thamizharasan (2002) [2], Rasdorf (2009) [3] y Kopf (2004) [4], exponen y evalúan sobre la incorporación de microesferas en la carretera, y llegan a la conclusión que el comportamiento de las microesferas va a depender de la calidad y blancura del material base, el grado de hundimiento, de los ángulos de iluminación y la cantidad de microesferas. Sin embargo, autores

como De Witt et al. (2002) [5] considera los siguientes puntos a la hora de elegir el material: bajo costo inicial, buena visibilidad diurna, buena visibilidad nocturna (condiciones secas y húmedas), resistencia adecuada al deslizamiento, tiempo de secado rápido, baja tasa de desgaste.

El grado de hundimiento ideal debe ser un 60%, ya que permite una mejor durabilidad de la esfera en la pintura, además de permitir una buena retrorreflexión. No obstante, este grado de hundimiento de una esfera que ha sido sembrada se especifica la cantidad por metro cuadrado que debe añadirse sobre la marca vial para asegurar un nivel mínimo de retrorreflexion. Las propiedades, de las que depende el grado de hundimiento de las microesferas, pueden mejorarse mediante la aplicación de tratamientos superficiales (Ministerio de Fomento, 2012) [6]. Autores como Calavia [7] plantean que el nivel de retrorreflexión se puede mejorar accionando sobre el grado de hundimiento de las esferas.

Las marcas en el pavimento inadecuadas y mal mantenidas son consideradas como uno de los mayores factores que contribuyen a los incidentes viales. Es esencial para aplicar la señalización del pavimento, disponer del material adecuado para todas las condiciones climáticas con el fin de



aumentar la seguridad pública y reducir los accidentes de los vehículos [8].

Existen varios estudios de departamentos de transporte de los EE UU. que evalúan la predicción de la vida útil mediante la utilización de métodos estadísticos basados en datos históricos recopilados en campos de prueba. En esta línea, Thamizharasan et al. [2] desarrollan modelos de regresión para pronosticar el ciclo de vida de la retrorreflexión mediante el análisis de datos obtenidos a lo largo del tiempo considerando marcas conformadas con materiales termoplásticos y pintura epoxi. También, Migletz et al. (2001) [9] desarrollan modelos de regresión para establecer relaciones entre los valores de retrorreflexión y el tránsito.

En este trabajo se busca evaluar el comportamiento de las microesferas en la marca vial a través de la evolución de las propiedades esenciales (retrorreflexión y resistencia al deslizamiento). Esto se realiza mediante la utilización de un equipo de abrasión por vía húmeda utilizado en el ámbito vial para lechadas asfálticas, que se encuentra disponible en el LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA. Además, este ensayo nos podría dar información sobre la adherencia de las microesferas en la pintura.

## 2. Materiales y Métodos

En base a la metodología de ensayo planteada en la tesis “Nuevas tecnologías en recubrimientos retrorreflectantes para demarcación vial” desarrollada en el LEMaC [10], se realizan nuevas experiencias con pinturas acrílicas, utilizadas comercialmente en el ámbito vial, sobre las que se siembran microesferas acordes al material base empleado

### 2.1. Materiales

En el marco del desarrollo del trabajo se estudian 2 pinturas acrílicas. En ambos casos los materiales se encuentran comercialmente disponibles y son de color blanco. Las denominaciones de las pinturas son P1 y P2. De éstas, la pintura P1 es una pintura acrílica estirenada base solvente y la pintura P2 es pintura acrílica pura con base acuosa. Para conformar los recubrimientos retrorreflectantes se utilizan: para la pintura P1, microesferas H-85 que cuentan con un tratamiento de adherencia y flotación (TAF) para pinturas base solvente y; para la pintura P2, microesferas con un tratamiento de Adherencia y Flotación (WBP) para pinturas base acuosa.

### 2.2. Ensayo de abrasión en pista vía húmeda

Para el ensayo se usa un agitador mecánico, modelo Hobart-N50. Según la norma ASTM D3910/1990 [11] de lechadas asfálticas, este 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 que roza la probeta sumergida en agua hasta la finalización del ensayo. Para ello, se reemplaza la bandeja original por una probeta cuadrada con un recorte en la esquina. Para la confección de las muestras, se utilizan 8 chapas de acero cincadas de forma cuadrada con un recorte en la esquina con la finalidad que puedan colocarse en la bandeja que tiene el equipo. En 4 chapas (M1, M2, M3, M4) se aplica pintura base solvente (P1) y se siembran microesferas mencionadas anteriormente. Y, sobre las chapas (M5, M6, M7, M8, M9) se aplica pintura base acuosa (P2) y se siembran las microesferas correspondientes. Las muestras utilizadas en el ensayo fueron confeccionadas en una obra realizada en el acceso de la Facultad. Previo al ensayo es necesario conocer los resultados de las propiedades esenciales. Para ello, se evalúa la retrorreflexión, la resistencia al deslizamiento, el aspecto visual y una observación en lupa que se detallan posteriormente.

Para iniciar el ensayo, se deja la muestra en una bandeja con un baño de agua durante una hora. Transcurrido ese tiempo, se coloca la muestra en la bandeja con una película de agua por encima de ella como se muestra en la Figura 1. Posteriormente, se enciende la máquina a baja velocidad y se mantiene en funcionamiento durante 5 minutos. Se retira la muestra de la bandeja luego del ciclo de abrasión y se lavan cuidadosamente eliminando los residuos de materiales sueltos.



Figura 1. Ensayo de abrasión por vía húmeda en marcas viales



Esta instancia de ensayo se repite dos veces y, luego de cada una se evalúan las propiedades esenciales mencionadas anteriormente: resistencia al deslizamiento con el péndulo inglés TRRL, comparación visual con cabina, retrorreflexión RL15, observación del aspecto visual con la cabina y con la lupa Olympus del LEMaC. A continuación, se comentan aspectos de las evaluaciones de estas propiedades.

### 2.3. Evaluación de las propiedades esenciales y aspecto visual

A continuación, se describen los procedimientos utilizados para cada una de las evaluaciones realizadas en las distintas instancias de ensayos.

**Ensayo de resistencia al deslizamiento con el péndulo inglés TRRL:** el péndulo inglés TRRL es un dispositivo que permite medir un coeficiente de resistencia al deslizamiento en una superficie tanto in situ (en el campo), como en el laboratorio. El procedimiento es el indicado en la Norma IRAM 1555/1998 [12] pero aplicado a marcas viales (Figura 2).



Figura 2. Evaluación de la resistencia al deslizamiento en marcas viales

En principio, se limpia la superficie y se moja con abundante agua la probeta y el patín de caucho, teniendo en cuenta de no mover el patín de su posición de ajuste. Luego, se suelta el brazo y cuando alcanza su altura máxima, se toma con la mano izquierda el retorno para evitar que se dañe, y se lee la posición de la aguja. Se acomoda el equipo para reiniciar la medida. Se realizan 5

medidas verificándose que no varíe en más de 3 medidas. Si las cinco primeras lecturas difieren en más de tres unidades, se vuelven a repetir hasta que tres lecturas consecutivas sean constantes, y en ese caso se registra ese valor.

**Evaluación del aspecto visual en una cabina:** por otra parte, en paralelo con este ensayo, se estudia cómo realizar una comparación visual de las muestras. Se utiliza una cabina preparada para este fin en el centro LEMaC detallada en la tesis mencionada al inicio [1].

La caja se encuentra pintada de negro mate en el interior y, posee una iluminación ubicada en la cara superior con una lámpara led para la toma de fotos simulando la luz diurna. Para el análisis de cada una de las probetas en las distintas instancias de ensayo, se toman dos fotos. En un caso se toma con el flash activado de la cámara y la lámpara apagada para observar el efecto de la retrorreflexión, y para el otro caso, se toma con la luz encendida, sin flash, para aparentar las condiciones diurnas (figura 3).



Figura 3. Evaluación del aspecto visual de las muestras. Fuente: elaboración propia.

**Lupa:** se utiliza una lupa binocular perteneciente al LEMaC. Para dicha comparación, se realizó una plantilla que considera la zona de ensayo y tiene la finalidad de centrar el análisis en las mismas zonas en las diferentes instancias de ensayo. Es importante aclarar que, para evaluar la distribución de las esferas, se utiliza la perforación de la plantilla con la escala de 4,5x que nos permite una apreciación con más detalle (Figura 4). Se toman

dos imágenes en dos puntos distintos con el software para cada muestra luego de cada ensayo.

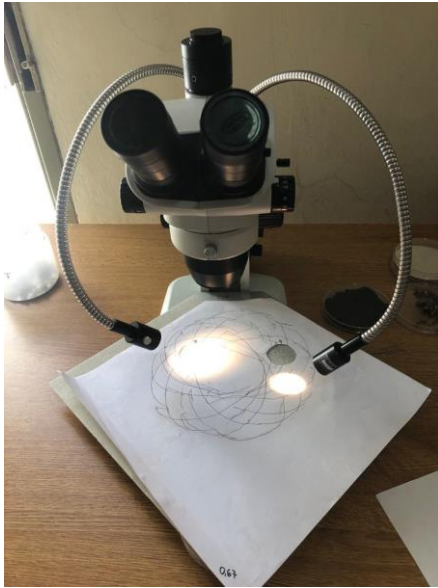


Figura 4. Evaluación con lupa mediante plantilla

**Retroreflexión:** se utiliza un retroreflectómetro portátil que posee una geometría de 15 metros como se observa en la Figura 5. Esta evaluación se realiza en el Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia (LAL CIC).



Figura 5. Evaluación de la retroreflexión de las marcas viales. Fuente: elaboración propia.

### 3. Resultados y discusiones

A continuación, se presentan los resultados de resistencia al deslizamiento de las probetas al inicio y luego de cada uno de los ensayos realizados de abrasión. Es necesario destacar que, de las 9 probetas, se descartó la probeta M3 con pintura base solvente y la probeta M9 con pintura base acuosa, debido a que la chapa sufrió deformación que afecta la evaluación con el equipo. Como

referencia se usan el valor límite inferior establecido en la NORMA UNE-EN 1436/09 [11]. La Figura 6 presenta los valores obtenidos en el ensayo de la resistencia al deslizamiento de las probetas con las marcas viales conformada con la Pintura Base Solvente P1 y las microesferas indicadas en la metodología en este caso. En la misma, se observa que la probeta M4 presenta un pico y luego comienza a bajar; por otro lado, la probeta M1 y la probeta M4 presentan, al inicio del ensayo, valores por debajo del valor mínimo indicado. Luego de haber realizado el primer ensayo todas las probetas cumplen con el valor mínimo de 45 SRT.

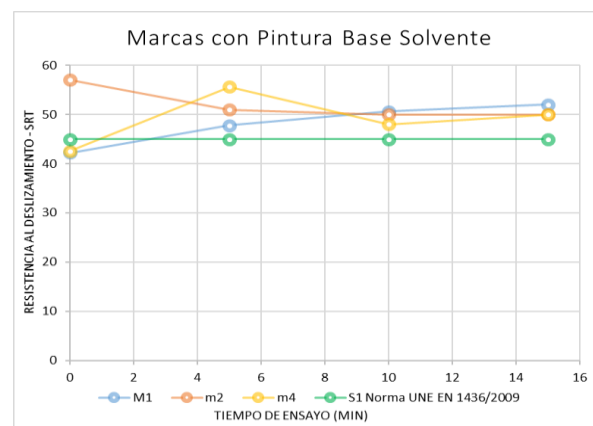
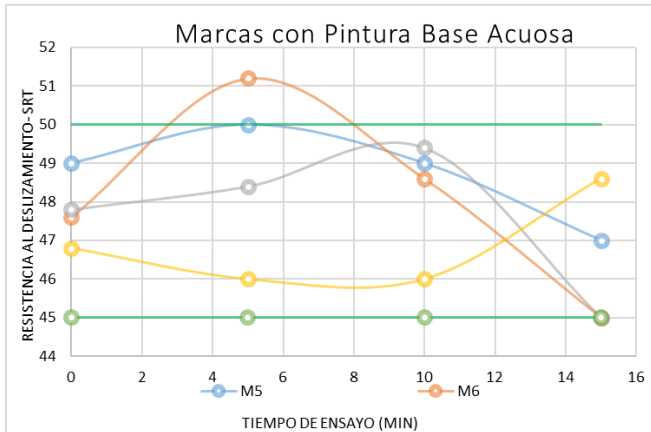


Figura 6- resultados de SRT en cada una de las instancias del ensayo WTAT

Por otra parte, se observa que la Figura 7 de las probetas aplicadas con pintura base acuosa P2 presentan un amplio rango de valores. Sin embargo, estos valores se encuentran por encima del valor límite inferior (45 SRT) de referencia que habíamos tomado en el caso anterior. Por ello, se toma el segundo valor de referencia de la norma UNE [11] de 50 SRT para la comparación de los valores obtenidos. Se destaca el caso de la probeta M6, que presenta un aumento notable de la resistencia al deslizamiento luego del primer ensayo de abrasión, superando el valor límite de 50 SRT y luego disminuye a 45 SRT. En general se observa este comportamiento mas atenuado en el resto de las probetas, salvo en el caso de la probeta M8 que luego de los 10 minutos de ensayo aumenta su valor de resistencia al deslizamiento.

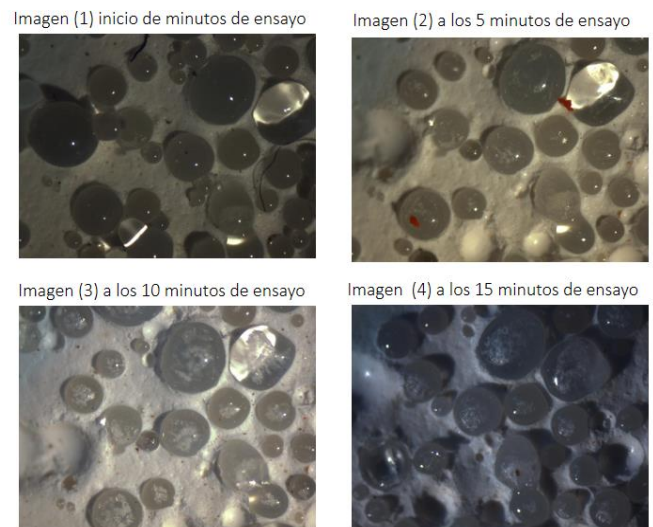


**Figura 7 - resultados de SRT (de las probetas con pintura P2) en cada una de las instancias del ensayo WTAT**

A continuación, la Figura 8 y la Figura 9 muestran las imágenes obtenidas con la Lupa de la probeta M1 con pintura Base Solvente (P1) y la probeta M7 con pintura Base Acuosa(P2), respectivamente. Cada una de las imágenes, muestra a las probetas luego de cada instancia del ensayo de abrasión (WTAT). La imagen 1 corresponde al inicio antes del ensayo, la imagen 2 luego del primer ensayo de 5 minutos y así sucesivamente. En la figura 8-2 se evidencia el deterioro luego del primer ensayo de la probeta M1, en la cual se desprendieron microesferas. En la figura 8-4 se puede apreciar que las microesferas se desprendieron casi por completo y podemos apreciar una microtextura más áspera en comparación con la figura 8-1. Relacionado con los resultados de la figura 6, la probeta M1 presentaba un aumento de la resistencia al deslizamiento luego del ensayo de abrasión WTAT, aspecto que se condice con la textura observada en la figura 8-4.

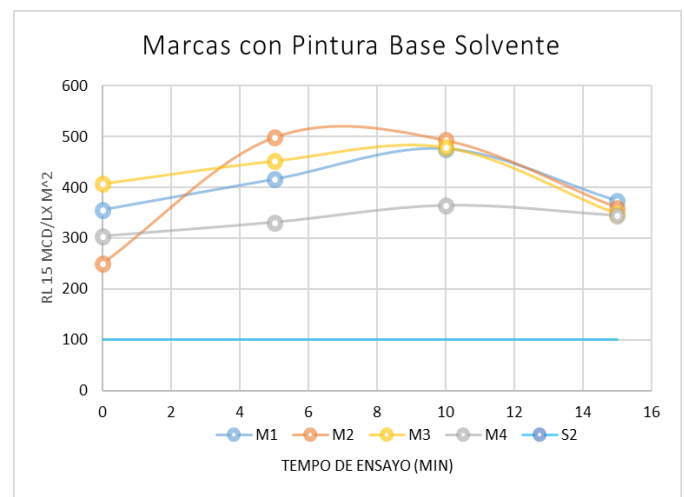
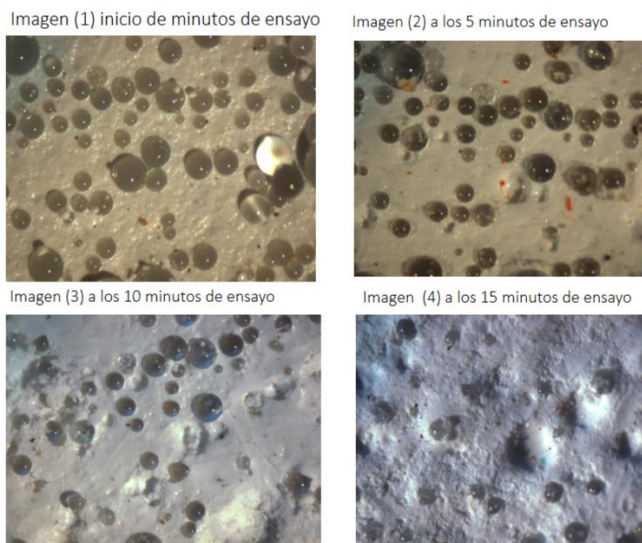
**Figura 8-vista en lupa de la probeta ensayada en distintas instancias.**

La Figura 9 presenta la evaluación en lupa de la probeta M7 en las mismas instancias de ensayo indicadas anteriormente. Se observa que en el transcurso del ensayo se desprendieron microesferas, pero al finalizar el mismo continúa con presencia de las mismas. Analizando la superficie de la pintura, se observa que presenta una microtextura más pulida comparada con la muestra de la pintura base Solvente (P1). Esto justifica la disminución observada de la resistencia al deslizamiento (figura 7) luego del ensayo de abrasión WTAT.



**Figura 9- Vista en lupa de la probeta ensayada en distintas instancias**

En la Figura 10 se presentan las curvas con los valores obtenidos de retroreflexion teniendo de referencia el valor límite de la Norma UNE 1436/09 [11] obtenidos en los diferentes instantes de ensayo en el cual se aplica pintura base Solvente (P1).

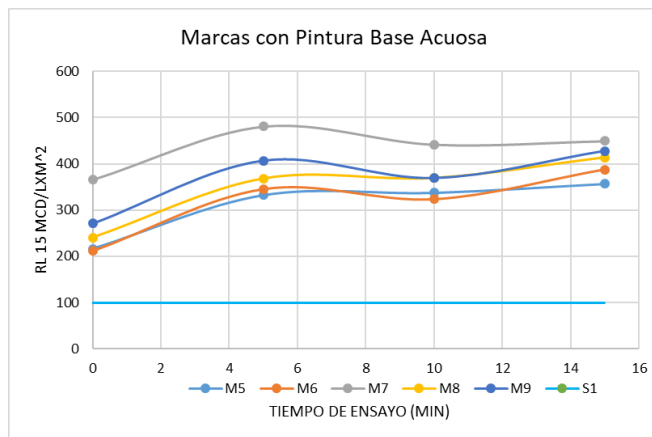




**Figura 10- resultados de RL-15 en cada una de las instancias del ensayo WTAT**

Inicialmente, se observa que los valores de retrorreflexión tienen un aumento luego del primer ensayo de abrasión WTAT y, posteriormente disminuyen. Este comportamiento es similar al patrón estudiado por thamizharasan [2] para marcas recién aplicadas. Analizando la probeta M1 cuya observación en lupa (figura 8) evidencia la escasez de microesferas desde el inicio y que luego continúan desprendiéndose.

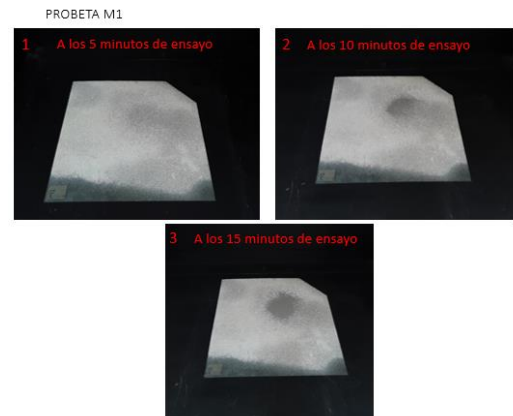
Por otro lado, en la Figura 11 para las marcas conformadas con pintura Base Acuosa, se observa inicialmente un aumento más abrupto que luego desciende de forma leve. Este aumento inicial se debe a que luego de realizar el ensayo de abrasión las probetas van perdiendo algunas microesferas que generan interferencias con las otras.



**Figura 11- resultados RL-15 en cada una de las instancias del ensayo WTAT**

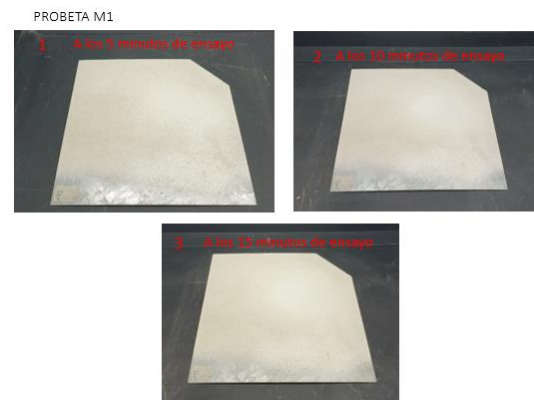
Retomando la observación en lupa de la figura 9, se nota la presencia de microesferas en toda la instancia de ensayo y, se destaca en la figura 9-4 que continúan gran cantidad de microesferas incorporadas en la pintura al finalizar el último ensayo de abrasión WTAT. Podríamos suponer, que en este caso podrían realizarse instancias adicionales de ensayo para observar la disminución de la retrorreflexión como en el caso de las pinturas base solvente.

A continuación, en la Figura 12 se presentan las imágenes tomadas en cabina de la probeta M1 con flash. A partir de los 10 minutos de ensayo se observa de forma notoria la disminución de la retrorreflexión en la zona de ensayo. Esto se encuentra relacionado con lo mencionado en la figura 8 de la ausencia de microesferas, y en la figura 10 en los valores obtenidos de retrorreflexión para la misma probeta.



**Figura 12- foto de la probeta 1 en cabina con flash**

En la Figura 13 se pueden observar las imágenes con la iluminación de la cabina y sin flash. En este caso en la zona de ensayo se puede observar un aspecto más claro comparado con el resto de la zona, esto es esperable debido a que queda expuesta la pintura con menor cantidad de microesferas.



**Figura 13- foto de la probeta 1 en cabina sin flash**

A diferencia del caso anterior, en la Figura 14 en la cual se encuentra la imagen de la probeta M7, se observa de forma más atenuada la disminución de retrorreflexión. En coincidencia con lo mencionado al final del ensayo, la misma continúa con la presencia de microesferas, como se mencionó anteriormente en la observación en lupa.

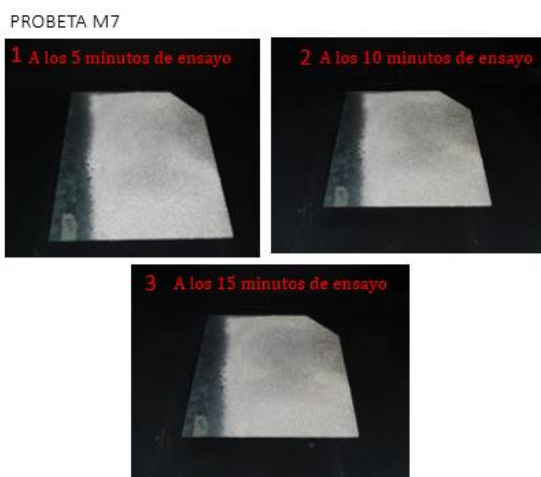


Figura 14- foto de la probeta 7 en cabina con flash

## 5. Conclusiones

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

En el caso de las marcas de pintura base solvente, las microesferas se desprenden en mayor cantidad por efectos de la abrasión evidenciando una superficie más áspera en la microtextura. Por otro lado, en el caso de la pintura base solvente se evidencia una microtextura más pulida con un menor desprendimiento de microesferas.

Además de estos ensayos, se implementa la evaluación visual con Lupa en la cual existe una relación con la evaluación de la resistencia al deslizamiento en el tiempo. Por otra parte, podemos relacionar las imágenes tomadas en la cabina y los resultados obtenidos en la retrorreflexión.

En los análisis de retrorreflexión es posible comparar el comportamiento en el tiempo con patrones del deterioro realizados por otros autores. Como conclusión general, los ensayos implementados en la tesis resultan de fácil acceso a laboratorios viales y es posible obtener una respuesta rápida del comportamiento de las marcas viales frente a la acción del agua y efectos del tránsito.

## Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de Carlos Colonna del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (LAL CIC) por las mediciones de retrorreflexión de las muestras

## Referencias bibliográficas

- [1] Mechura V.V (2021), Nuevas tecnologías en recubrimientos retrorreflectantes para demarcación vial, [Ph.D. dissertation]. UTN FRLP, Bs, As., Argentina. [Online]. Available: <http://www.https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/5919>.
- [2] THAMIZHARASAN, A., SARASUA, W., CLARKE, D., & DAVIS, W., "A methodology for estimating the lifecycle of interstate highway pavement marking retroreflectivity", In 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, (2003).
- [3] RASDORF, W. J., HUMMER, J. E., ZHANG, G., SITZABEE, W., "Pavement marking performance analysis", (2009).
- [4] KOPF, J. "Reflectivity of pavement markings: Analysis of retroreflectivity degradation curves" (2004) (No. WA-RD 592.1.), Olympia: Washington State Department of Transportation.
- [5] De Witt, A. J., Smith, R. A. F., & Visser, A. T. (2000). Durability and cost effectiveness of road marking paint. SATC 2000.
- [6] MINISTERIO DE FOMENTO (2012) "guía para el proyecto y ejecución de obras de señalización horizontal". Editorial centro de publicaciones, secretaria general Técnica, Ministerio de Fomento (ISBN 987-84-498-0926-2) España.
- [7] CALAVIA D., "Demarcación horizontal - Seguridad vial - La visibilidad de las marcas viales - Aspectos fotométricos - Retrorreflexión" (1995), Revista Carreteras, Argentina, n 145, pp. 47 a 55.
- [8] 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.
- [9] MIGLETZ, J., GRAHAM, J., HARWOOD, D., BAUER, K. "Service Life of Durable Pavement Markings" (2001), Transportation Research Record 1749, TRB, National Research Council, Washington D.C., 13-21.
- [10] la NORMA UNE-EN 1436/09 materiales para señalización vial horizontal"





# VALORACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE TEMPERATURA ENTRE CAPAS DE UN PAVIMENTO CON Y SIN LA INTERPOSICIÓN DE UN GEOSINTÉTICO

**Becaria;** Obregon Hug, Tatiana Marianela(tobregonhug@alu.frlp.utn.edu.ar)

**Director;** Delbono, Héctor Luis (hdelbono@frlp.utn.edu.ar)  
LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP-CIC PBA, Argentina.  
lemac@frlp.utn.edu.ar



**Área:** Tecnología de los Pavimentos Flexibles.

## Resumen

Se realiza un análisis de la transmitancia térmica desde la capa de rodamiento de concreto asfáltico hacia la capa inferior de un pavimento rígido a ser rehabilitada, interponiendo geosintéticos, analizando el sistema como mitigador del efecto de alabeo en losas de hormigón. Se evalúa de forma comparativa el comportamiento de diferentes sistemas confeccionados con materiales geosintéticos versus una repavimentación tradicional.

**Palabras clave:** Pavimento, rehabilitación, geosintético, hormigón, mezcla asfáltica, temperatura, durabilidad.

## 1. Introducción

Los pavimentos pueden distinguirse en flexibles y rígidos. En un pavimento rígido, se produce una distribución homogénea de la carga aplicada, dando como resultado tensiones bajas en la capa inferior denominada "subrasante". En los pavimentos flexibles, la capa de rodadura no es rígida, por lo que se tienen deformaciones verticales y, consecuentemente, mayores tensiones en la subrasante respecto de los pavimentos rígidos. Figura 1.

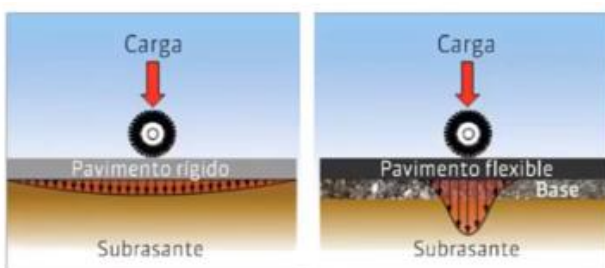


Figura 1. Acción de las cargas sobre distintos pavimentos.

Fuente: UTN FRLP [1]

### 1.1 Pavimentos de hormigón

Un pavimento rígido consiste en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o subbase. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento. Se compone de losas de hormigón simple que en algunas ocasiones presentan acero y su periodo de vida útil varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y comúnmente solo se efectúa en las juntas de las losas.

Entre los tipos de deterioro que se pueden evidenciar en pavimentos de hormigón existen:

- Fisura transversal o diagonal.
- Fisura longitudinal.
- Fisura de esquina.
- Escalonamiento de juntas y grietas.
- Bacheo deteriorado.
- **Efecto alabeo.**
- Otros.

## 2. Rehabilitación de pavimentos

El control de los pavimentos se compone por todas aquellas acciones de conservación que, aplicadas en el tiempo, mantienen un nivel de servicio adecuado, tanto en el aspecto funcional como estructural. En la Figura 2 se muestra un gráfico que representa la forma general en que se deterioran los pavimentos, donde en los primeros años el deterioro es lento; sin embargo, existe un umbral en el cual el deterioro es acelerado, llegando rápidamente al final de la vida útil del camino.

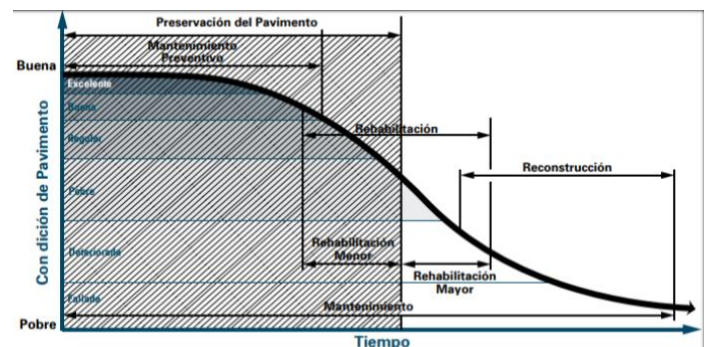


Figura 2. Deterioro de los pavimentos en función del tiempo.

Fuente: UTN FRLP [2]

Existen diferentes causas que llevan al deterioro de un camino y distintas alternativas para restituir las condiciones de seguridad y confort del mismo, una de las causas es la propagación de fisuras existentes en la capa inferior hacia la capa de superficie que se coloca como refuerzo. Para retardar este efecto comúnmente se utilizan materiales geosintéticos. En el caso de rehabilitar un pavimento de hormigón un efecto poco controlado es el alabeo.

Este trabajo aborda la incidencia de geosintéticos sobre el efecto de alabeo que se manifiesta en las losas de hormigón por la variación de la temperatura, siendo una función no específica de estos materiales pero que indirectamente podría contribuir a la mitigación de este problema.

### 3. Influencia de la temperatura. Alabeo.

La rugosidad de los pavimentos de hormigón tiene dos componentes, una asociada a la calidad de la construcción inicial, y otra a la variación de su forma (alabeo) debido a cambios de temperatura y humedad. La rugosidad es una cuantificación del grado de incomodidad e inseguridad que las irregularidades superficiales generan a los usuarios y se valora a través del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

El alabeo cóncavo tiende a provocar el levantamiento de las esquinas de las losas del pavimento y, en menor medida, en los bordes. Dicho efecto quita capacidad estructural en estas zonas, sumado a la deformación que el alabeo constructivo provoca, afectando negativamente al IRI. Esto no sólo reduce la calidad del pavimento en cuanto al confort del usuario, sino que tiende a acelerar su tasa de deterioro. Un buen control de la contracción del hormigón minimiza el alabeo constructivo maximizando el nivel de servicio y reduciendo la tasa de deterioro.

Cuando la temperatura de la superficie es mayor que la del fondo, la parte superior de la losa se expande más que éste provocando una tendencia a curvarse en forma convexa, Figura 4; el peso propio de la losa opone resistencia a la deformación e induce esfuerzos de tracción en el fondo de la losa y, esfuerzos de compresión hacia la parte superior de ella. Con las temperaturas en forma inversa, situación común en la noche, la losa tiende a curvarse en forma cóncava y el patrón de esfuerzos presenta tracción hacia la parte superior de la losa y compresión hacia el fondo del pavimento. Estas variaciones de forma pueden alcanzar magnitudes importantes y originar fisuras prematuras en la losa.

El alabeo por humedad es un factor que se contrapone al alabeo por gradientes de temperatura durante el día. Esto es provocado por un diferencial de humedad desde la parte superior hasta el fondo de la losa. La parte superior se encuentra más seca que el fondo de la losa y una disminución en el contenido de humedad provoca una contracción, mientras que un incremento provoca una expansión. Figura 3.

Un pavimento en servicio se encuentra sujeto a continuos cambios de temperatura y humedad. Esto se traduce en la generación de gradientes de estos parámetros en la sección de hormigón que provocan alabeos que se encuentran restringidos por el peso propio de la losa.

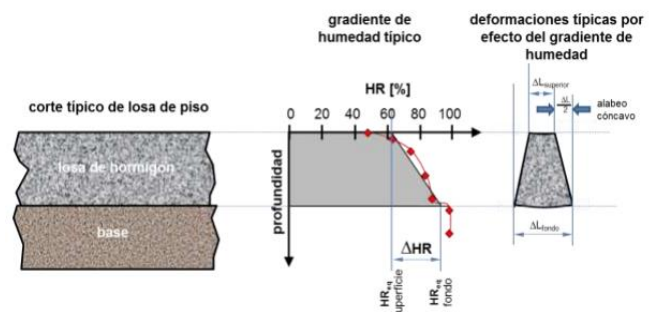


Figura 3. Gradiente de humedad.  
Fuente: centro técnico Loma Negra [3]

Durante el día, en general, el alabeo por temperatura y el de humedad se contrarrestan. En cambio, durante la noche, se combinan.

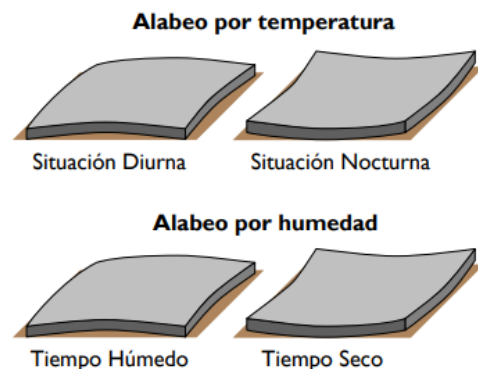


Figura 4. Alabeo por temperatura.  
Fuente: ICPA [4]

### 4. Aplicación de los geosintéticos

Los pavimentos rígidos que no han recibido un correcto mantenimiento preventivo, o bien que éste ya no resulte suficiente, son sometidos a una rehabilitación para continuidad de su puesta en servicio. Una de las formas de realizar esta intervención es aplicando un geosintético entre la

losa de hormigón y la capa a colocar de carpeta asfáltica para mitigar el reflejo de fisuras, Figura 5.

Si adicionalmente con la interposición del geosintético se disminuye la temperatura que le llega a la capa de hormigón rehabilitada, el efecto del alabeo podría reducirse y, consecuentemente, el pavimento rehabilitado tendría una mayor vida útil, debido a que el efecto de alabeo contribuye en la propagación de fisuras.

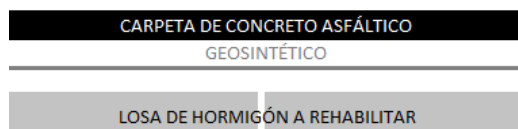


Figura 5. Esquema de rehabilitación.

### 5. Desarrollo experimental

Para llevar a cabo el desarrollo experimental se confeccionan probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro, correspondiente al ensayo Marshall. Las mismas están compuestas por una capa inferior de hormigón dosificado en laboratorio, una capa intermedia de un material geosintético y una capa superior de mezcla asfáltica.

#### Capa inferior de hormigón

La dosificación se informa en la Tabla 1.

Componentes	Peso (kg)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )
Agua	163	1	0,163
Cemento CPN 40	365	3,06	0,119
Agregado grueso 6:12	855	2,67	0,32
Agregado fino	1002	2,65	0,038
Aire			0,015
Superfluidificante	4,9	1,15	0,004
Relación agua/cemento	0,45		1
MRm (Mpa)=	4,5	Resistencia media a la flexión	
K=	0,75	$f'_{cm} = (MRm / K)^2$	
$f'_{cm}$ (Mpa)=	36	Resistencia media a compresión	

Tabla 1. Dosificación del hormigón.

El moldeo del hormigón se realiza en probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, dejando una perforación central para incorporar una termocupla que registre la temperatura. Posteriormente, se fraccionan probetas de 5 cm de altura para confeccionar diferentes sistemas donde

se varía el tipo de material geosintético. La Figura 6 presenta el sistema conformado.



Figura 6. Sistema elaborado.

#### Riego de adherencia

Para garantizar la eficiencia durante toda la puesta en servicio del pavimento bituminoso, es fundamental que las capas estén adheridas, lo que se consigue mediante la aplicación de riegos de adherencia con emulsión asfáltica, Figura 7.

Se utiliza como riego de liga una emulsión catiónica modificada CR-62. La dotación utilizada es de 0,5 l/m<sup>2</sup>.



Figura 7. Probetas de hormigón con riego de adherencia.

#### Capa intermedia, geosintético.

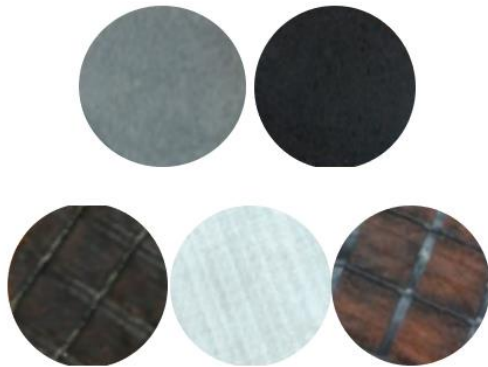
Se confeccionan los distintos sistemas, interponiendo geosintéticos de diferentes estructura y composición química, y se realiza una evaluación comparativa con el sistema sin geosintético. Los materiales utilizados son:

- Geogrilla / Geomalla (GRH)
- Geotextil No Tejido (GNT RT 08)
- Geogrilla / Geomalla (GR MAC)
- Geocompuesto (geomembrana + geotextil tejido) (FMPP)



- Geocompuesto (geomembrana + geotextil no tejido) (RBK)

En la Figura 8 se muestran los geosintéticos que, de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, son: GNT RT 08, RBK, GRH, FMPP y GR MAC.



**Figura 8. Geosintéticos.**

#### Capa superior de mezcla asfáltica.

La capa superior es un concreto asfáltico convencional denso de granulometría continua y tamaño máximo de agregado 19 mm (CAC D19 con asfalto del tipo CA-30). La Tabla 2 presenta los resultados de la mezcla elaborada.

Ensayo	Resultado	Exigencia
Vacíos (%)	3,5	3 - 5
Estabilidad (E) (kg)	1394	>800
% mínimo de ligante (%)	5,0	5,0
Relación E - Fluencia (kg/cm)	4600	2500 - 4500

**Tabla 2. Resultados y exigencias para un Concreto Asfáltico Convencional CAC D19.**

Las probetas se realizan en dos líneas de producción. En primer lugar, se moldean cinco probetas con una capa inferior de hormigón de 5 cm, a las cuales luego se les realiza un riego para adherir cada uno de los geosintéticos. Posteriormente, se les coloca la capa de concreto asfáltico y se moldean compactando en un espesor de 5 cm. Se moldea una probeta similar sin interponer un geosintético como comparativa (Blanco s/ GST).

#### **5.1 Sistemas complementarios**

De forma comparativa se moldea el mismo sistema, variando el espesor de la capa superior de refuerzo asfáltico a 4 cm y 5 cm. También se moldean otros dos sistemas variando la cantidad de golpes (50 y 75 golpes) sobre la capa de refuerzo asfáltico para obtener diferentes densidades y analizar su incidencia en la transmitancia térmica.

La Tabla 3 presenta las densidades obtenidas de las probetas moldeadas a 50 golpes y 75 golpes.

	50 golpes	75 golpes
Densidad aparente [gr/cm <sup>3</sup> ]	2,300	2,336
Densidad Rice [gr/cm <sup>3</sup> ]	2,641	
% Vacíos de agregado mineral	12,92	11,55

**Tabla 3. Variación de la densidad.**

#### **5.2 Evaluación de la transmisión de temperatura**

La evaluación de la transmisión de la temperatura entre capas de un pavimento depende de una gran cantidad de variables. Es necesario conocer la zona de ubicación de la obra, para este caso se trabaja con la información climática de la ciudad de La Plata en los meses con más radiación del año 2021 - 2022.

Para simular la irradiación en el laboratorio, se realiza un trabajo en conjunto con el equipo de Energías Alternativas, Tecnología y Desarrollo Sustentable (EnAlTecS), perteneciente al Centro de Investigación de Codiseño Aplicado (CODAPLI) de la UTN FRLP. Las probetas son expuestas a la actividad de lámparas halógenas Ultra Vitalux OSRAM de 300 Watts cada una con un espectro de distribución de radiación entre 800 y 2000 nm (irradiación similar a la solar) sobre la capa superior de refuerzo asfáltico durante 3,5 hs. La medición de temperatura se realiza utilizando termocuplas tipo K sobre la cara superior de la capa de hormigón, conectadas a un adquirente de datos que almacena los valores registrados, Figura 9.



**Figura 9. Probetas ensayadas.**

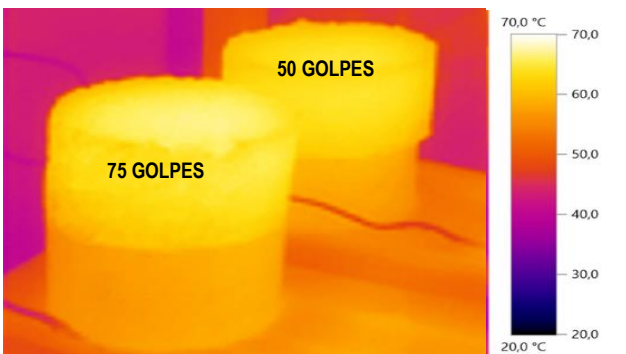
Las imágenes térmicas de las probetas se obtienen luego de 3,5 horas de exposición mediante el uso de una cámara termográfica Testo 865, Figura 10, con las siguientes características:

- Visualización de las diferencias en la temperatura desde 0,1 °C
- Detección automática de puntos fríos y calientes

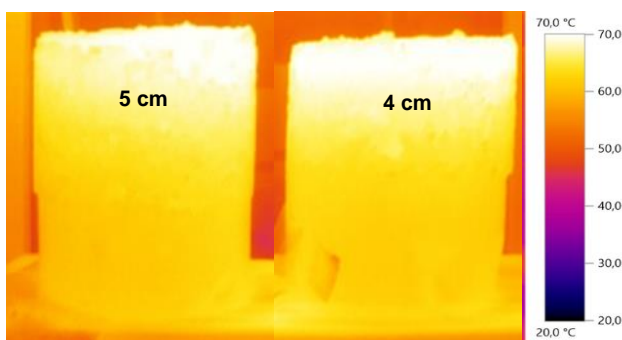


**Figura 10. Cámara termográfica.**  
Fuente: Testo Argentina S.A.

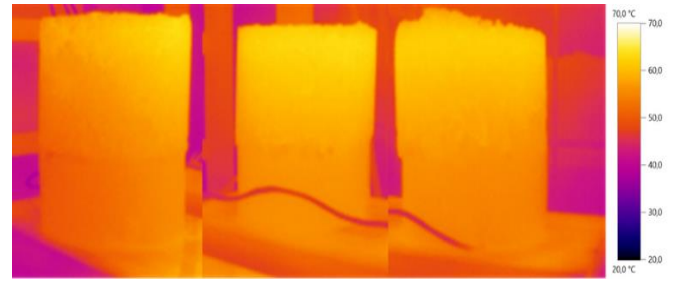
En las Figuras 11, 12 y 13 se presentan algunas de las imágenes obtenidas.



**Figura 11. Imágenes de probetas con distintos golpes.**



**Figura 12. Imágenes de probetas con diferente espesor.**

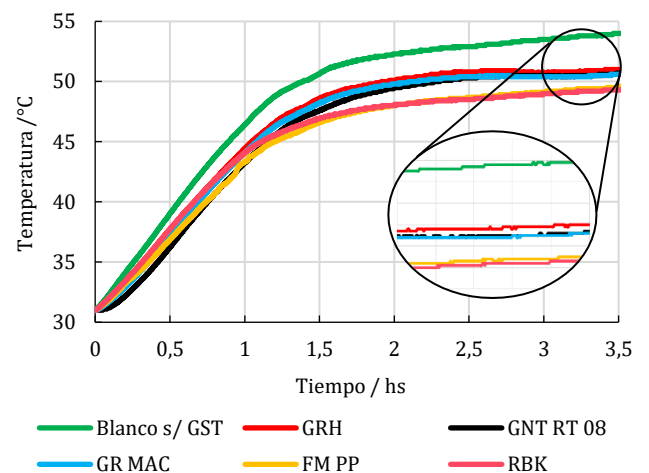


**Figura 13. Imágenes de probetas con geosintéticos.**

En la Figura 12 se observa mayor “claridad” en la superficie de la probeta de 4 cm de espesor, lo que indica mayor temperatura.

## 6. Resultados.

La Figura 10 presenta la transmisión de la temperatura a través del concreto asfáltico CAC D19 durante el tiempo de exposición a la radiación, sobre los diferentes sistemas.



**Figura 14: Variación de la transmisión de la temperatura en los diferentes sistemas**

Durante la primera hora de ensayo se observa que la pendiente de las curvas es más pronunciada, indicando el intervalo donde se produce la mayor absorción de calor. Luego, comienzan a estabilizarse alcanzando valores de temperatura promedio de 50 °C, siendo la diferencia entre el sistema con y sin geosintético de 5 °C.

La curva verde indica el aumento de la temperatura en la cara superior de la losa de hormigón sin la interposición de un geosintético. Las curvas restantes indican la variación según el material geosintético interpuesto.

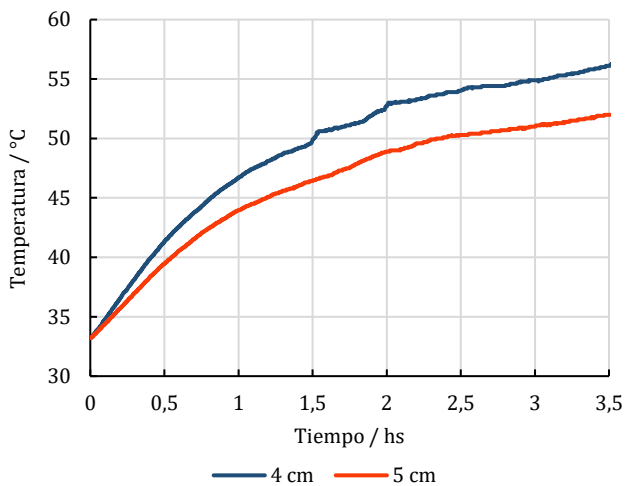
Realizando una comparativa entre las distintas interfaces se aprecia que las geogrillas GRH y GR MAC son las menos eficientes en mitigar la transmisión de la temperatura, esto se debe

posiblemente a que son de estructura abierta, lo que permite vinculación entre capas.

En el caso del geotextil no tejido RT 08, durante la primera hora de exposición, el calor se conduce con menor eficiencia hacia la capa de hormigón. Pasado este tiempo la temperatura registrada se incrementa debido a que, por la misma propiedad, el calor previamente absorbido comienza a acumularse.

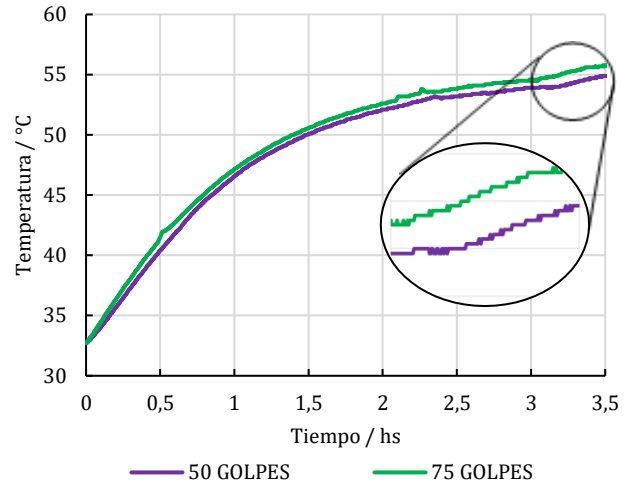
En la Figura 10 también se observa que tanto el material FM PP, como el material RBK, presentan la mayor efectividad al momento de mitigar la temperatura que recibe la capa inferior de hormigón. Estos materiales son membranas viscoelásticas con la adición de un geotextil.

En cuanto a los sistemas que presentan variación en los espesores, Figura 12, el  $\Delta T$  alcanzado luego de 3,5 horas de exposición es de 4 °C, de modo tal que las temperaturas finales registradas en las muestras de 5 y 4 cm son de 52 y 56 °C, respectivamente.



**Figura 15: Variación de la transmisión de la temperatura: Probetas de 4 cm y 5 cm.**

Para las probetas que se moldearon con diferentes golpes, la Figura 11 presenta que, para una exposición de 3,5 horas, la transferencia de la temperatura en una mezcla cuya densidad es de 2,336 gr/cm<sup>3</sup> (75 golpes), difiere en menos de 1 °C si se la compara con una mezcla de 2,299 gr/cm<sup>3</sup> (50 golpes).



**Figura 16: Variación de la transmisión de la temperatura: Probetas compactadas con 50 - 75 golpes.**

## 7. Conclusiones

1. Si se considera que las propiedades térmicas de la mezcla asfáltica no varían, se observa que para dos muestras de hormigón que poseen diferentes espesores de carpeta asfáltica, luego de un mismo período de exposición a la radiación, la temperatura registrada en la superficie de la losa rehabilitada es mayor en aquella con menor espesor producto de un mayor flujo de calor conducido.
2. La presencia de un material geosintético, dependiendo específicamente de su estructura, mitiga la transmisión de temperatura entre capas.
3. La disminución en la transmisión del calor contribuye a aminorar la variación de temperatura entre capas de pavimento. Con esto se logra mitigar el efecto del alabeo en las losas de hormigón, generando menos tensión superficial en las mismas, reduciendo el reflejo de fisuras en la capa de pavimento flexible.
4. Al realizar una comparativa entre los distintos geosintéticos, los geocompuestos estudiados generan mayor eficiencia respecto de la disminución de la transferencia de la temperatura hacia la capa de la losa de hormigón.

## 8. Referencias bibliográficas

- [1] Perera, E. (2022). "Diseño de pavimentos flexibles - Vías de comunicación II". Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata. Argentina.
- [2] Perera, E. (2022). "Refuerzos de pavimentos - Vías de comunicación II". Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata. Argentina.



[3] Becker, E. y Corallo, P. (S/F). "Influencia de la contracción por secado del hormigón sobre el alabeo de largo plazo de losas de pavimentos de hormigón". Centro Técnico Loma Negra. Argentina.

[4] Calo, D. (2016). "Diseño de pavimentos de hormigón. Introducción teórica". Instituto del Cemento Portland Argentino. Argentina.

#### Otras consultas bibliográficas

1. Almeida Franco, M.D. (2021). "Estudio para la rehabilitación de pavimentos rígidos analizando el grado de deterioro debido a las acciones físicas, químicas y ambientales utilizando la técnica de hormigón granallado". Universidad Laica de Guayaquil, Facultad de Ingeniería, industria y construcción. Ecuador.
2. Cabrera Ojeda, P.A. (2021). "Pavimentos asfálticos como colectores de energía solar radiante para aplicaciones térmicas". Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata. Argentina.
3. Cabrera Ojeda, P.A. (2022). "Resultados preliminares obtenidos del comportamiento térmico de pavimentos modificados para mejorar el medio ambiente urbano". Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata. Argentina.
4. Calo, D. (2016). "Manual de pavimentos urbanos de hormigón". Instituto del Cemento Portland Argentino. Argentina.
5. Martínez Alarcón, C.A. (2015). "Análisis del ciclo de vida de los pavimentos asfálticos". Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de ingeniería Civil. Colombia.
6. Muñoz, P.P. (2012). "Estudio del comportamiento térmico de pavimentos de mezcla bituminosa y análisis de un colector solar asfáltico multicapa". Universidad de Cantabria. España.
7. Ortiz Lozano, J.A. (2005). "Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia del hormigón preparado". Universidad Politécnica de Cataluña. Cataluña.



# VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DESGASTE EN AGREGADOS GRUESOS GRANÍTICO-ANFIBÓLICOS.

**Becario/s;** Lunasco, Osvaldo. (olunasco@alu.frlp.utn.edu.ar)

**Director/res;** Lajoinie, María F. (florencialajo@fcnym.unlp.edu.ar)  
LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP-CIC PBA, Argentina.  
lemac@frlp.utn.edu.ar  
INREMI-UNLP, Instituto de Recursos Minerales. La Plata, Buenos Aires  
Argentina.



**Área:** Tecnología de los pavimentos flexibles.

**PID Asociado:** “Valoración integral geológico-vial de canteras y yacimientos de rocas destinadas a la obtención de agregados de trituración”. Código: MATCBLP0008101TC.”

## Resumen

En canteras del área del Cerro Sotuyo, Olavarría, se extraen rocas destinadas a la obtención de agregados de trituración. Dichas rocas, se encuentran constituidas por al menos dos tipos litológicos de características geológicas contrastantes como son los granitoides y las anfíbolitas. Ensayos de desgaste Micro Deval realizados sobre estos agregados evidenciaron importantes variaciones en los coeficientes obtenidos. Sobre la base de estudios petrográficos se pudo determinar que la variación en los valores de desgaste se encuentra asociada a cambios en la proporción de las litologías presentes. Agregados con un 94,2% de anfíbolita arrojaron valores de desgaste de 10,37%, aquellos con un 57,6% de anfíbolita valores de 7,86% y los agregados con una proporción de anfíbolita menor a un 40% presentaron desgastes de 6,19%. Considerando esta situación, se recomienda que, para agregados gruesos conformados por diferentes proporciones litológicas, los valores de desgaste se representen como curvas de desgaste y no como determinaciones puntuales ya que las mismas no reflejan las propiedades totales de todo el conjunto de agregados.

**Palabras clave:** Agregado grueso, anfíbolitas, granitoides, desgaste, Micro Deval, petrografía.

## 1. Introducción

En el área del paraje Cerro Sotuyo, a unos 6 km al sudeste de Sierras Bayas en la localidad denominada Colonia San Miguel del partido de Olavarría, provincia de Buenos Aires (Fig. 1), se desarrolla una importante actividad minera asociada a la producción de agregados gruesos para construcción. Los materiales pétreos extraídos corresponden a rocas ígneo-metamórficas del Complejo Buenos Aires [1] que constituyen el basamento cristalino del Sistema de Tandilia o Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires. Específicamente, en este sector, las rocas explotadas corresponden a una variedad de anfíbolitas, gneises y migmatitas, estas dos últimas denominadas genéricamente como “granitoides” [2]. Las mencionadas litologías presentan características mineralógicas, texturales y estructurales muy contrastantes las cuales podrían tener influencia en las propiedades mecánicas e ingenieriles de los agregados que conforman. La determinación de

aptitudes de los agregados, a partir de estudios geológicos tradicionales, es una demanda técnica de evaluación cada vez más ajustada en canteras de este tipo [3]. En ese sentido, la determinación del desgaste ocurrido sobre los agregados es una de las aptitudes físicas más importantes a determinar para agregados de uso vial. En la presente contribución se presentan los coeficientes de desgaste Micro Deval determinados en agregados con diferente proporción anfíbolita-granitoides con el fin de conocer la influencia de esta variación sobre el desgaste de los mismos.

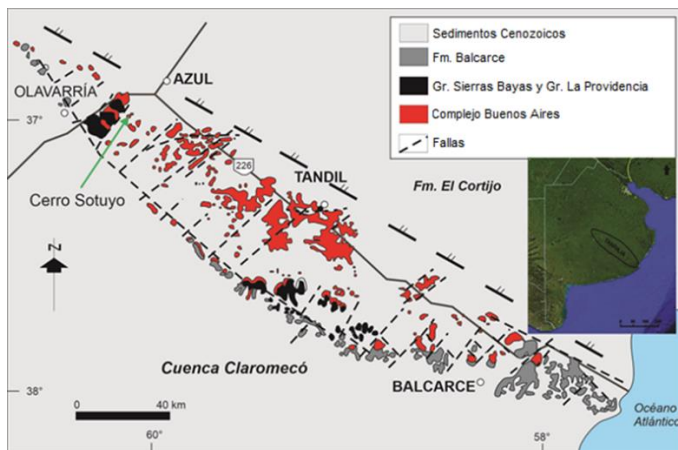
## 2. Anfíbolitas y granitoides

Una anfíbolita es un tipo de roca metamórfica de textura media a fina compuesta mayoritariamente por silicatos como anfíboles y plagioclasas. Presentan, en la mayoría de los casos, coloración negra o verde y un aspecto vítreo o lechoso. Desde el punto de vista de su fábrica, suelen presentar una orientación que se encuentra asociada al alineamiento de los cristales prismáticos de anfíbol durante su cristalización y recristalización. Sin

embargo, pueden presentar fábricas aleatorias o isótropas.

Granitoide es el término genérico utilizado para nombrar una categoría diversa de rocas ígneas y metamórficas de grano grueso conformadas predominantemente por cuarzo, plagioclasa y feldespato alcalino. Dentro de las rocas metamórficas, los gneises y las migmatitas suelen ser incluidos bajo esta denominación. Un gneis es una roca que presenta una fábrica típica denominada bandedado composicional. Esta última, consiste en una alternancia de capas o bandas de minerales claros y oscuros. Las bandas claras contienen relativamente más minerales félsicos tales como feldespato y cuarzo, que contienen elementos más ligeros, como aluminio, sodio y potasio. Las bandas más oscuras tienen relativamente más minerales máficos, que contienen más magnesio y hierro, como anfíboles y biotita.

Por otro lado, una migmatita es una roca sumamente heterogénea que posee apariencia de gneis pero que además posee un sector de características ígneas (similares a un granito). Estas rocas han sufrido procesos de fusión parcial lo que les otorga una variedad de estructuras las cuales tienen importantes implicancias sobre la resistencia total de la roca [4].



**Figura 1: Mapa geológico del Sistema de Tandilia, provincia de Buenos Aires [5]. Se destaca la ubicación del Cerro Sotuyo, de donde se obtuvieron las muestras. Tomado de [2].**

### 3. Metodología

Los agregados ensayados fueron extraídos de canteras del Cerro Sotuyo y analizados bajo lupa binocular para la determinación del porcentaje de anfíbolita y granitoide presente en cada individuo [6 y 7].

Teniendo en cuenta las indicaciones que figuran en el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Concretos Asfálticos en Caliente de la Dirección Nacional de Vialidad, previo a los ensayos de Micro

Deval (Fig. 2), los agregados, fueron evaluados según los índices de Lajas y Agujas (normas IRAM 1687-1 y 2). En este sentido, se destaca que todas las muestras que fueron seleccionadas para su estudio cumplieron con la mencionada exigencia (Fig. 3a y b). Una vez que los agregados fueron evaluados y caracterizados, se realizó el ensayo de Micro Deval.

#### 3.1 Micro Deval

Este ensayo consiste en medir el desgaste de agregados pétreos producido bajo condiciones definidas en la norma IRAM 1762 [8] por frotamiento entre los agregados con una carga abrasiva y dentro de un cilindro en rotación, para así obtener el coeficiente Micro Deval, que indica que porcentaje de la muestra se reduce a tamaños menores a 1,6 mm.

El instrumental necesario es el equipo Micro Deval, juego de tamices IRAM detallados en la norma, balanza, estufa con ventilación capaz de mantener 110°C, equipo de lavado y probeta de vidrio graduada con volumen de  $2,5 \text{ l} \pm 0,05 \text{ l}$ .

La muestra de ensayo consiste en al menos 2 kg de agregados de granulometría comprendida entre 10 mm y 14 mm. La curva granulométrica debe corresponder a una de las siguientes exigencias:

- Entre el 60 % y el 70 % de los agregados deben pasar a través de tamiz IRAM 12,5 mm.
- Entre el 30 % y el 40 % de los agregados deben pasar a través del tamiz IRAM 11,2 mm.

Procedimiento realizado:

En primer lugar, se tamizó la muestra con el propósito de obtener fracciones granulométricas diferenciadas, las que luego se mezclaron para obtener dos muestras de laboratorio modificadas de  $500 \pm 2 \text{ g}$  cada una. (m1)

Se introdujo en cada cilindro una fracción de la muestra para ensayar,  $5000 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$  de bolas de acero,  $2,5 \text{ l} \pm 0,5 \text{ l}$  de agua y se colocó la tapa de cada cilindro. Posteriormente se los sometió los cilindros a una velocidad de rotación de  $100 \pm 5$  vueltas/minuto, durante  $12000 \pm 10$  vueltas (2 horas) en el equipo Micro-Deval.

Luego del ensayo se vertió todo el material en el tamiz IRAM 1,6 mm, y posteriormente se puso en una bandeja, se lo lavo por rebalse y se retiraron las bolas de acero mediante un imán.

Se secó el contenido en estufa a 110 °c y se obtuvo la determinación de la masa retenida por el tamiz IRAM 1.6 mm (m2).

Para cada fracción de la muestra se calculó el coeficiente Micro-Deval (MD)

$$MD = \frac{m1 - m2}{(m1/100)}$$





Figura 2. a) Equipo para el ensayo Micro Deval, LEMaC. b) Detalle de tambor con muestra en su interior.

#### 4. Resultados

##### 4.1 Caracterización de los agregados

El estudio petrográfico preliminar consistió en el análisis bajo lupa binocular de agregados con distinta proporción de sectores graníticos y anfibólicos. Los agregados constituidos casi completamente por anfibolita presentan coloración gris verdosa, tamaño de grano medio a fino, morfologías más planares y bordes angulosos (Fig. 3b y c). Su mineralogía presenta una importante proporción de anfíboles, biotita y feldespatos. En menor proporción, algunos agregados presentan además cuarzo. Los agregados graníticos poseen una coloración predominantemente rojiza, morfologías ecuanter y bordes angulosos a subangulosos (Fig. 3b y c). Se encuentran conformados por minerales tales como cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas. En menor cantidad se observan pequeños cristales de biotita. Los agregados mixtos presentan proporciones variables de las litologías antes mencionadas, las cuales se distribuyen desarrollando diferentes morfologías en cada agregado (Fig. 3b). Algunos presentan proporciones similares de roca granítica y anfibolítica, mientras que otros presentan zonas subredondeadas o en forma de bandas de material anfibolítico que atraviesa los sectores graníticos.

Este tipo de litologías fue estudiado bajo el microscopio petrográfico por Lajoinie (2023) quien desarrolló fichas técnicas de estas rocas resaltando las características tanto geológicas como algunas geotécnicas más sobresalientes (Fig. 4a y b). Tal como puede observarse en estas fichas, los parámetros geotécnicos son diferentes en cada uno de los tipos de agregados, destacándose algunos con mayores diferencias tales como elongación, desgaste Los Ángeles y adsorción, entre otros.

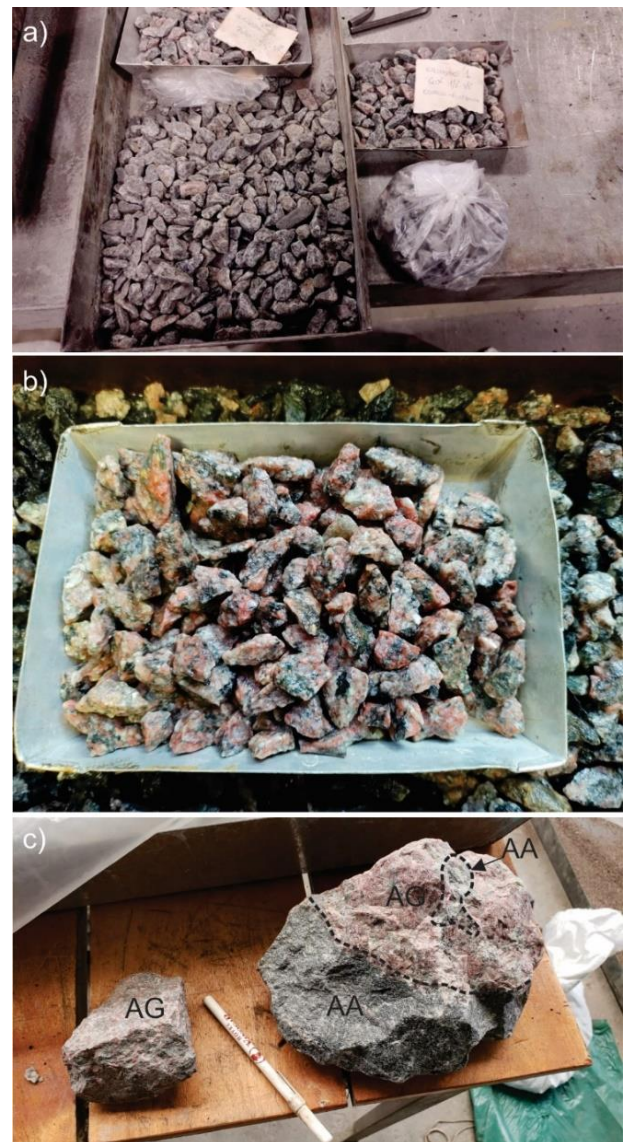


Figura 3. a) Fracciones granulométricas para el ensayo Micro Deval. b) Variación en la coloración de los agregados, la cual responde a cambios litológicos. c) Agregado granítico de coloración rojiza (AG) y otro mixto granítico y anfibolítico (AA) de coloración gris-verdosa.

##### 4.2 Micro Deval

Los resultados del ensayo Micro Deval se detallan en la Tabla 1. Todos los valores de desgaste MD fueron aceptables según lo exigido por Vialidad Nacional en los Pliegos de Especificaciones Técnicas Generales para concretos asfálticos (calientes y semicalientes) y para pavimentos de hormigón. [9 y 10].

Se observó cierta dispersión en los resultados finales de desgaste, lo que se atribuyó a las diferentes proporciones litológicas en cada ensayo realizado a pesar de que los agregados provenían de una misma cantera. Para esto se contabilizó y categorizó la proporción de rocas rojizas (consideradas graníticas), negras (consideradas anfibolitas) e indeterminadas (cuando ambos grupos litológicos

están en similares proporciones dentro de una misma roca), obteniendo los siguientes resultados.

**a)**  **GRANITO ROSADO**

- Mineralogía: Cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita.
- Escaso contenido de material perjudicial
- ENSAYOS GEOTÉCNICOS
  - Índice de Lajosidad 15%
  - Índice de Elongación 21%
  - Desgaste Los Ángeles 22%
  - Densidad relativa real 2,71 gr/cm<sup>3</sup>
  - Absorción 0,2%
- Apto para su empleo como agregado grueso para uso vial: Si
- Calidad: Excelente

**b)**  **GRANITO GRISÁCEO**

- Mineralogía: Cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, hornblenda y biotita.
- Abundantes anfíboles alterables a minerales considerados como perjudiciales por la Norma IRAM 1702
- ENSAYOS GEOTÉCNICOS
  - Índice de Lajosidad 16,52%
  - Índice de Elongación 37,46%
  - Desgaste Los Ángeles 24,6%
  - Densidad relativa real 2,73 gr/cm<sup>3</sup>
  - Absorción 0,51%
- Apto para su empleo como agregado grueso para uso vial: Si
- Calidad: Buena



**Figura 4. Fichas técnicas obtenidas para los agregados producidos en el Cerro Sotuyo [2]. a) Granito rosado correspondiente a los agregados rojizos en este estudio y b) granito grisáceo denominado anfíbolita en este estudio.**

Para el primer ensayo realizado, en el cual se obtuvo 10,37% de desgaste Micro-Deval, el 94,2% de los agregados fueron de color negro, y el 5,8% indeterminado, dejando 0% de rocas rojizas. Para el segundo ensayo realizado, en el cual se obtuvo 7,86% de desgaste Micro-Deval, el 57,6% de los agregados fueron de color negro, el 23% Rojo, y el 19,4% indeterminado.

En un tercer ensayo realizado se buscó separar en principio solo fracciones rojizas de una muestra más grande de agregados, como la muestra necesaria para la realización del ensayo deben tener una granulometría específica esto no fue posible de hacer totalmente debido a que cada roca está constituida por minerales de más de un color y por lo tanto cuentan con diferentes características, en particular, de resistencia al desgaste.

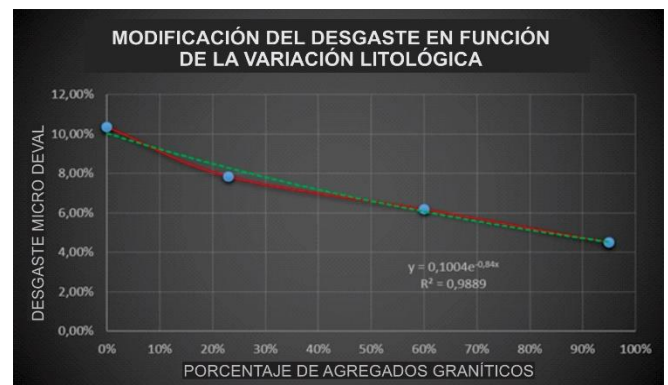
Se separó la mayor cantidad de agregados posibles con esta tonalidad y se estimó que la cantidad de agregados rojizos correspondía a un 60%.

La resistencia al desgaste por Micro Deval mejoró considerablemente, tomando un valor de 6,19%.

En función de estos valores se trazó una curva de desgaste de la Figura 5 según el porcentaje de agregados rojizos y se extrapolo un cuarto valor al 95% de agregados rojizos, considerando que siempre habrá otras litologías en una muestra de cantera y además el desgaste no se reducirá indefinidamente. El valor de desgaste Micro-Deval extrapolado para agregados rojizos predominantes fue de 4,52%. Se considera que alrededor de estos valores será el límite de desgaste de los agregados con estas tonalidades.

Agregados mixtos							
% de agregados rojizos	Antes MD		Después MD		MDE		Pro medio
	m1 (gr)	m2 (gr)	m1 (gr)	m2 (gr)	m1	m2	
0%	501,2	500,8	449,2	448,9	10,38	10,36	10,37
23%	499,52	500,36	460,46	460,86	7,82	7,89	7,86
60%	499,9	501,3	469,12	470,15	6,16	6,21	6,19

**Tabla 1. Valores obtenidos de los ensayos Micro Deval.**



**Figura 5. Construcción de la curva de desgaste de acuerdo con los resultados del ensayo Micro Deval.**



## 5. Discusión y consideraciones finales

En el ámbito del Sistema de Tandilia, provincia de Buenos Aires, la producción de agregados que se encuentran conformados por diferentes tipos litológicos es una situación frecuente. Cuando los tipos litológicos incluyen rocas del grupo de los granitoides, esta situación no genera mayores modificaciones en las propiedades geotécnicas de los agregados que conforman, ya que los mismos tienen la misma mineralogía y los cambios sólo responden a variaciones texturales y/o estructurales. Sin embargo, la presencia de rocas tipo anfibolitas en asociación con rocas graníticas o del grupo de los granitoides produce modificaciones importantes en los parámetros geotécnicos de acuerdo con su proporción en una mezcla determinada. Los resultados obtenidos en este trabajo, junto con otros parámetros estudiados y recopilados por otros autores [2] evidencian claramente esta situación. Los mismos muestran como el aumento en la proporción de anfibolita (o la disminución de roca granítica) de los agregados aumenta su desgaste. Esto se debe principalmente a que las anfibolitas presentan una muy baja proporción de cuarzo y una muy alta de anfíboles. La dureza del cuarzo en la escala relativa de Mohs es de 7 mientras que la de los anfíboles es de 5-6. Esto sumado al hábito de desarrollo prismático de estos últimos minerales genera que las rocas que los contienen sean menos duras y más frágiles. En este sentido, la presencia de proporciones variables de anfibolita modificará los parámetros físicos de dureza de los agregados que conforman. De esta forma, la obtención de una curva de desgaste como la presentada en este trabajo permite predecir el desgaste que sufrirán los agregados a diferente proporción de material granítico o anfibolítico evitando la utilización de un parámetro único que no es representativo para toda la mezcla de agregados.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al LEMaC y al INREMI, por poner a disposición sus instalaciones para llevar a cabo los ensayos y estudios petrográficos realizados en este trabajo. Por otro lado, agradecemos al Lic. Francisco Lajoinie y al Ing. Demián Palumbo por facilitar el material necesario para la realización del presente estudio.

## Bibliografía

[1] Marchese, H.G., Di Paola, E., 1975. Miogeosinclinal Tandil, Revista de la Asociación Geológica Argentina 30: 161-179.  
[2] Lajoinie F.I. (2023). Caracterización petrográfica y geotécnica del basamento ígneo-metamórfico expuesto en la cantera Piatti ubicada en el Cerro

Sotuyo, colonia San Miguel del partido de Olavarría, provincia de Buenos Aires. Trabajo Final de Licenciatura, Facultad de Ciencias Naturales-UNLP.

[3] (Coriale, N., Correa, M.J., Lanfranchini, M. y de Barrio, R., 2014. Caracterización geotécnica y petrografía del basamento precámbrico de Sierras Bayas, Olavarría, Provincia de Buenos Aires. XIX Congreso Geológico Argentino.

[4] Tarbuck E. J. y Lutgens F. K. (2005) "Ciencias de la Tierra" ed. Pearson Educación S. A., Madrid

[5] Dalla Salda, L.H., de Barrio, R.E., Echeveste, H., Fernández, R. (2005). El basamento de las Sierras de Tandilia. In: de Barrio, R.E., Etcheverry, R., Caballé, M.F., Llambías E.J. (Eds.), Geología y Recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del 26° Congreso Geológico Argentino, 32-50, La Plata.

[6] Agregados gruesos para uso vial. Método de análisis del estado físico de la roca. Norma IRAM 1702.0 (1981).

[7] Agregados gruesos para uso vial. Características basadas en el análisis del estado físico de la roca. Norma IRAM 1703. (1981).

[8] Agregados. Determinación de la resistencia al desgaste de los agregados pétreos con el equipo Micro-Deval. Norma IRAM 1762. (2000).

[9] Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Concretos Asfálticos en Caliente y Semicaliente del tipo Densos. Ministerio de Transporte. Presidencia de la Nación. 20 (2017).

[10] Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para pavimentos de hormigón, con aporte de hormigón reciclado. Ministerio de Transporte. Presidencia de la Nación. (2017).



# DETERMINACIÓN DE SUPERFICIES ESPECÍFICAS EN LA GRANULOMETRÍA DE POLVO DE NFU USADOS EN LA MODIFICACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS. PARTE II

**Becario/s;** Battista, Mirco. (mircobattista@alu.frlp.utn.edu.ar)

**Director/res;** Fensel, Enrique Alberto (efensel@frlp.utn.edu.ar)  
LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP-CIC PBA, Argentina.  
lemac@frlp.utn.edu.ar

**Área:** Tecnología de los Pavimentos Flexibles.

**PID Asociado:** “Utilización de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en elementos de construcción vial”.



## Resumen

La presente tesis es la continuación del trabajo realizado en la Parte I. En esta etapa se vuelcan todos los conceptos teóricos planteados anteriormente, en la realización de las determinaciones físicas a través de ensayos. Se analizan y comparan los resultados obtenidos según las distintas metodologías empleadas.

**Palabras clave:** Pavimentos flexibles, Asfalto, Neumáticos fuera de uso, Caucho, Granulometría, Superficie específica.

## 1. Introducción

El análisis de partículas es una técnica utilizada para determinar el tamaño, forma y distribución de las partículas en una muestra.

Dentro de la ingeniería vial es de gran importancia ya que permite comprender mejor las propiedades de los materiales utilizados para la construcción de pavimentos. En el diseño de mezclas asfálticas el estudio e investigación de los agregados es esencial para asegurar la calidad del producto final.

Actualmente existen diversos métodos para analizar las propiedades características de un conjunto de partículas. La elección del mismo dependerá de la naturaleza de la muestra y la información que se busca obtener.

## 2. Materiales y Métodos

### Materiales

#### Polvo de Caucho de NFU Tradicional:

Los neumáticos usados constituyen hoy en día uno de los problemas más importantes de residuos debido a su inmensa producción y su especial tratamiento. Gran cantidad de ellos se queman sin ningún tipo de control medioambiental o se depositan en naves y espacios abiertos a la espera de algún tratamiento que no siempre llega. Existen dos alternativas de reutilización:

- **Recauchutado:**

Consiste en sustituir la banda de rodamiento desgastada por una nueva. El inconveniente de este proceso es que las cubiertas de los vehículos sólo

se recauchutan una vez, y que en ocasiones las de mayor tamaño no pueden ser recauchutadas porque han sufrido daños o deterioros en otras partes de la cubierta que no son la banda de rodamiento.

- **Utilización directa:**

Sólo consume una parte mínima de los neumáticos usados en defensas de muelles y embarcaciones, arrecifes artificiales, rompeolas, entre otras.

Es aquí donde surgen sistemas de tratamiento para valorizar estos residuos como:

- Trituración a temperatura ambiente
- Trituración criogénica
- Incineración con recuperación de energía
- Pirolisis
- Termólisis

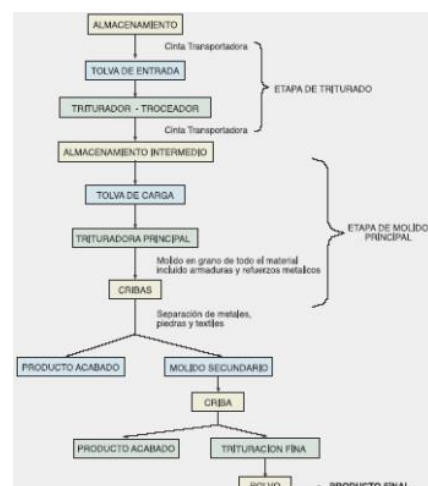


Fig. 1. Proceso de trituración de NFU.

El sistema de molienda utilizado en la Argentina es el proceso de trituración a temperatura ambiente, el cual permite mecánicamente obtener gránulos de diferentes tamaños dependiendo de las etapas a las que se lo someta.

Uno de los dos tipos de cauchos utilizados para realizar las experiencias de esta tesis fue provisto por una empresa de origen nacional. La misma posee un sistema de molienda fija a temperatura ambiente y recolecta el caucho de las principales empresas dedicadas al recauchutaje de neumáticos en el país. En su planta industrial se realiza una limpieza previa y luego se tritura el caucho por una serie de cilindros que van obteniendo distintos tamaños de molienda



Fig. 2. Polvo de NFU nacional.

#### Polvo de caucho pretratado:

Una vez obtenido el polvo de caucho existen distintas formas y tecnología para lograr su adición en la conformación de mezclas asfálticas. Una de ellas es por *vía húmeda*, donde el polvo de caucho es mezclado con el asfalto convencional para modificar sus propiedades y obtener un asfalto modificado. Una vez producido se mezcla con áridos y filler para fabricar la mezcla asfáltica con caucho. La vía húmeda garantiza la calidad y prestaciones requeridas para el asfalto-caucho fabricado. Sin embargo, se requiere de una agitación constante de la mezcla asfalto-polvo de caucho durante un período aproximado de 45 minutos y a temperaturas elevadas (mayores de 160°C). Así, es necesario disponer un equipo mezclador/agitador, lo cual puede suponer una elevada inversión. Para el caso de la fabricación en centrales el transporte y posterior almacenamiento de estos productos presenta problemas e inconvenientes derivados de la decantación de las partículas de caucho, así como obstrucciones en las instalaciones de impulsión del asfalto.

Una solución a esta tecnología es la adición por *Vía Seca*, en la cual el polvo de caucho se añade como una fracción de árido fino más en el momento de fabricar

la mezcla bituminosa. Procedimiento que no interfiere en el proceso habitual de fabricación de la mezcla bituminosa de la planta y no requiere ningún equipo auxiliar o adaptación de las instalaciones existentes. Sin embargo, el proceso de digestión se completa durante el amasado y transporte de mezcla con caucho en el camión o bien en un silo de almacenamiento una vez fabricada. Si dicho proceso no está completo en el momento del extendido y posterior compactación, la mezcla con caucho puede no alcanzar las prestaciones requeridas. (poco tiempo=falta de digestión, exceso de tiempo=degradación del caucho)

Ante esta problemática de asegurar la calidad de la mezcla asfáltica con caucho fabricada por vía seca surge el **aditivo de caucho pretratado** el cual es fabricado con una tecnología de activación para controlar el proceso de digestión de la partícula de caucho y garantizar las prestaciones técnicas finales de la mezcla. El valorado en el LEMaC es fabricado a partir de la trituración de NFU por procedimientos mecánicos a temperatura ambiente (99%) y luego es pretratado superficialmente con una adición química (1%) para obtener el aditivo requerido.



Fig. 3. Polvo de NFU pretratado.

#### Métodos de caracterización

##### **Microscopía**

Esta técnica se utiliza para observar y medir partículas a través de un microscopio. Este método, si bien no arroja valores concretos respecto de la granulometría o de la superficie específica de las partículas, es un método muy útil que permite identificar las partículas de polvo de caucho de manera directa y determinar su forma y tamaño. Gracias a esto puede ser analizada la partícula y así juzgar muy bien sobre si se ha realizado una correcta dispersión, o por el contrario existen aglomeraciones presentes en el sistema.

Para realizar las determinaciones se utilizó el equipo se encuentra en el LEMaC.

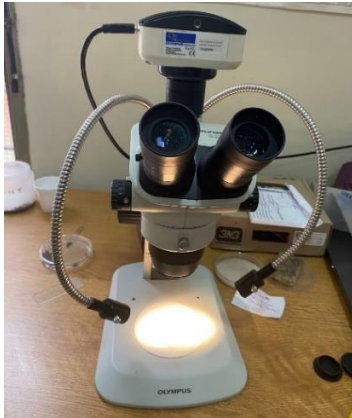


Fig. 4. Microscopio.

- Tapa y bandeja de fondo herméticas
- Balanza de precisión
- Bandejas, cepillo.
- Esferas de caucho (diámetro 35mm)
- Polvo de talco (tamaño máximo 40  $\mu\text{m}$ )
- Máquina de tamizar

### Análisis granulométrico por tamizado de las partículas de polvo de caucho proveniente de NFU

El ensayo tiene como objeto determinar la granulometría del polvo de caucho mediante tamizado en seco. Se aplica a partículas de caucho procedentes de la trituración de NFU, con un tamaño máximo nominal superior a 63  $\mu\text{m}$ , excluyendo las partículas de tamaño inferior. El trabajo se realizó basándose en la norma UNE-EN 933-1 especificada en el manual CEDEX.

### Husos granulométricos:

Según el Manual de Empleo de Caucho de NFU en Mezclas Bituminosas la granulometría del polvo de caucho debe estar comprendida dentro de alguno de los siguientes husos granulométricos.

Tamiz	Abertura	P1	P2	P3
10	2	100		
	1.5	75 - 100		
18	1	45 - 90	100	
35	0.5	30 - 80	10 - 80	100
60	0.25	5 - 50	5 - 70	0 - 40
120	0.125	0 - 30	0 - 30	0 - 25
230	0.063	0 - 15	0 - 15	0 - 15

Tabla 1. Husos granulométricos.

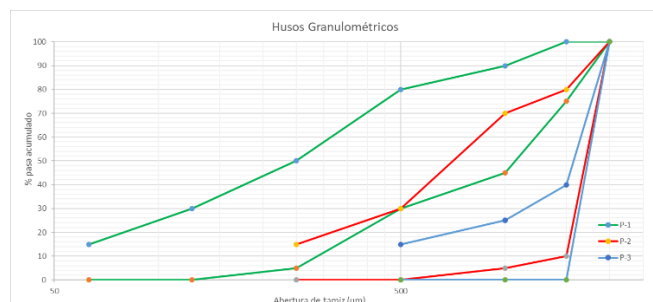


Gráfico 1. Husos granulométricos.

### Aparatos y materiales utilizados:

- Polvo de NFU
- Tamices de ensayo



Fig. 5. Máquina tamizadora mecánica.

### Preparación:

Se tomaron 3 (tres) muestras de polvo de caucho de aproximadamente 500g. a través de su respectivo cuarteo. La masa de cada porción de ensayo fue de unos 100g. Se empleó una cantidad de talco igual a 1g. Se introdujeron ambos materiales en un recipiente y se mezclaron hasta deshacer las aglomeraciones de partículas y el talco se haya distribuido uniformemente.

### Procedimiento:

- Se monta una columna de tamizado, formada por los tamices ensamblados, con una bandeja de fondo.



Fig. 6. Conjunto de tamices utilizados.



- Se disponen 2 esferas de goma por tamiz.
- Se coloca la columna en la máquina y se le agrega la porción de ensayo.



Fig. 7. Introducción de muestra.

- Se agita mecánicamente durante 10 minutos.
- Se retiran uno a uno los tamices y se pesa el material retenido, ayudándose de un cepillo para no perder ninguna partícula.

### Analizador de Partículas

Este método se basa en la dispersión de luz por las partículas en la muestra para analizar sus diferentes formas y tamaños. El principio básico del PSA es que cuando un haz de luz se enfoca en una muestra, las partículas en la muestra dispersan la luz en todas las direcciones. La cantidad y el ángulo de la dispersión de la luz dependen del tamaño y la forma de las partículas. La dispersión de la luz se mide utilizando detectores de ángulo y se utiliza para calcular el tamaño de las partículas en la muestra.

#### Equipo:

Para realizar las determinaciones se utilizaron dos equipos:

El **Equipo Analizador de Partículas (PSA) de CILAS**, el cual está diseñado para medir el tamaño de las partículas que van desde  $0,04 \mu\text{m}$  a  $2,500 \mu\text{m}$ , en función del modelo.

En el **LEMaC** se dispone de un equipo modelo CILAS 990 que tiene un rango de medición que va desde los  $0,3\mu\text{m}$  hasta los  $500\mu\text{m}$ .



Fig. 8. PSA CILAS.

#### Proceso de medición:

- Preparación de la muestra: Se realiza un tamizado previo, debido al rango de tamaños de medición de partículas que impone el equipo.



Fig. 9. Introducción de líquido dispersante.

- Introducción de la muestra: La muestra se introduce en el muestreador que contiene el líquido diluyente. El mismo está diseñado para garantizar que la suspensión sea homogénea y se distribuya uniformemente a lo largo del haz de luz.



Fig. 10. Introducción de polvo de NFU.

- Medición: El haz de luz láser se dirige a través de la muestra y las partículas dispersan la luz en ángulos específicos. El conjunto de detectores mide la intensidad de la luz dispersada en cada ángulo y la envía al software de análisis de datos.
- Análisis de datos: El software de análisis de datos procesa los datos recopilados por los detectores para calcular la distribución de tamaño de partícula de la muestra.

El otro equipo utilizado fue el **Mastersizer 2000 de Malvem Instruments**. El mismo se encuentra en el **Laboratorio de micropartículas y planta piloto**

de aeroclasificadores, perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, con asiento en la ciudad de Olavarría. Este analizador de partículas funciona de manera idéntica a como lo hace el equipo CILAS, con la diferencia de que para este caso el rango de medición es más amplio. A diferencia del equipo que se encuentra en el LEMaC, este puede medir partículas a partir de los 0,100 hasta los 2000 micrones.



Fig. 11. Mastersizer 2000.

### 3. Resultados

#### Microscopía

Se tomó a través de los métodos de cuarteo una muestra lo más representativa posible de la cantidad total de material con el que se contaba. La misma fue esparcida sobre el plato contenedor del microscopio y se observaron los siguientes resultados.

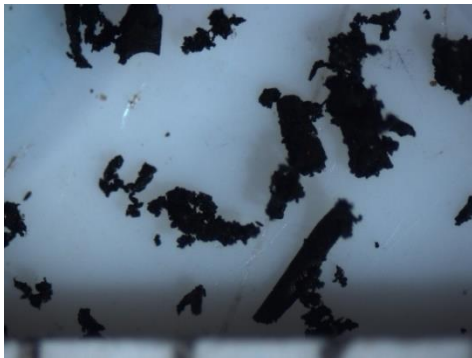


Fig. 12. Muestra: NFU (zoom: 4,5x)

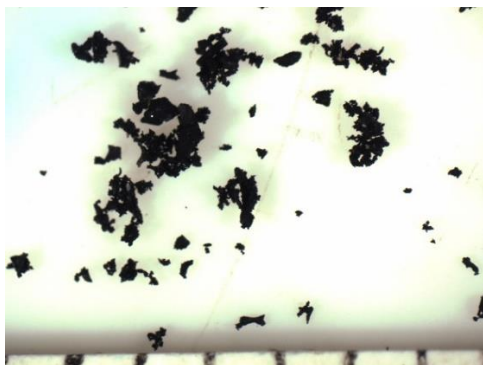


Fig. 13. Muestra: NFU (zoom: 2x)

Se observa en las imágenes la diversidad de tamaños y formas que pueden existir dentro de una muestra

de polvo de caucho. Se notan partículas que, por su forma alargada, están muy lejos de poder asimilarse a una esfera. Sumado a esto, las partículas muestran cierta aglomeración, aspecto que condiciona fuertemente en la determinación de la forma y tamaño por los métodos mecánicos tradicionales.

#### Análisis granulométrico mecánico

A partir de la realización del ensayo tal y como se indicó anteriormente según la norma, se arribó a los siguientes resultados.

MUESTRA 1			
Nº Tamiz	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% Pasa
10	0.45	0.45	99.55
12	0.91	0.90	99.10
18	1.20	1.19	98.81
35	46.01	45.55	54.45
60	75.85	75.09	24.91
120	96.47	95.51	4.49
230	100.87	99.86	0.14
FONDO	100.92	99.91	0.09
MUESTRA 2			
Nº Tamiz	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% Pasa
10	0.44	0.44	99.56
12	0.82	0.81	99.19
18	1.20	1.19	98.81
35	41.86	41.44	58.56
60	74.13	73.39	26.61
120	96.67	95.70	4.30
230	100.80	99.79	0.21
FONDO	100.85	99.84	0.16
MUESTRA 3			
Nº Tamiz	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% Pasa
10	0.61	0.60	99.40
12	1.42	1.41	98.59
18	2.13	2.11	97.89
35	44.30	43.86	56.14
60	75.52	74.76	25.24
120	97.08	96.11	3.89
230	100.46	99.46	0.54
FONDO	100.50	99.50	0.50

Tabla 2. Muestra 1,2 y 3.

MUESTRA PROMEDIO		
Nº Tamiz	Promedio % Retenido	Promedio % Pasa
10	0.50	99.50
12	1.04	98.96
18	1.50	98.50
35	43.62	56.38
60	74.42	25.58
120	95.78	4.22
230	99.71	0.29
FONDO	99.88	0.12

Tabla 3. Muestra Promedio.

Se grafica la muestra promedio y se la compara con los husos granulométricos establecidos en la norma.

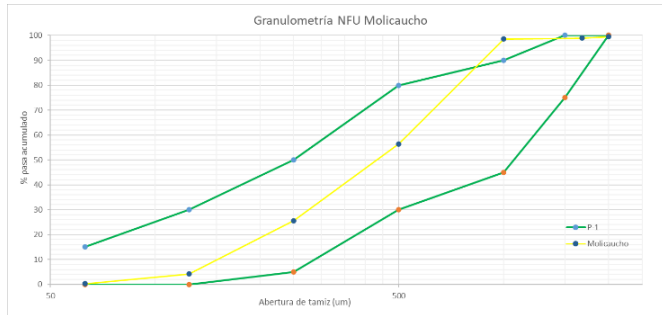


Gráfico 2. Granulometría NFU.

La granulometría resulta encuadrarse dentro de los límites granulométricos del tipo P1.

### Analizador de Partículas

#### PSA CILAS:

El ensayo se realizó utilizando como líquido dispersante alcohol isopropílico y se tamizó la muestra por el tamiz N°40.

El equipo arrojó los siguientes resultados.

**DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE PARTICULAS**  
CILAS 990 Líquido  
Rango: 0.20 µm - 500.00 µm / 70 Clases

Ref. de la muestra : Muestra 2 NFU M	Ultrasonidos : 60 s
Comentarios :	Obscuration : 0 %
Líquido :	Diámetro a 10% : 66.50 µm
Agente dispersante :	Diámetro a 50% : 204.98 µm
Operador :	Diámetro a 90% : 424.41 µm
Compañía : LEMaC CIC PBA	Fraunhofer
Lugar : UTN FRLP	Densidad/Factor : 1.16 g/cm³ / 0.50
Fecha : 13/07/2022 Hora : 20:42:45	Superficie específica : 1085.61 cm²/g
Indice de medidas : 543	Dilución automática : No / No
Database name : CilasDB1	Medidas/lavado : 60s/60s/4
	SOP name : Fraunhofer

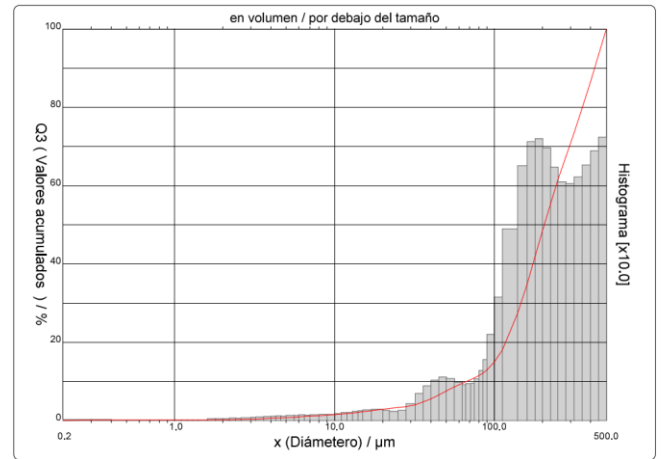


Gráfico 3. Histograma PSA CILAS.

#### Mastersizer 2000 Malvem Instruments:

En este caso se ensayó también el polvo de caucho de origen nacional con su granulometría original. Los resultados del análisis fueron los siguientes.

**MASTERSIZER**  
Result Analysis Report

Sample Name: NFU - Average	SOP Name:	Measured: Lunes, 14 de Noviembre de 2022 11:02:46 a.m.
Sample Source & type:	Measured by: castellano	Analysed: Lunes, 14 de Noviembre de 2022 11:02:47 a.m.
Sample bulk lot ref:	Result Source: Averaged	

Particle Name: Tungsten powder 1.0	Accessory Name: Sirocco 2000M	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Normal
Particle RI: 2.240	Absorption: 1	Size range: 0.100 to 1000.000 µm	Obscuration: 0.11 %
Dispersant Name: Dry dispersion	Dispersant RI: 1.000	Weighted Residual: 0.445 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0011 %Vol	Span : 1.540	Uniformity: 0.471	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.0219 m²/g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 274.378 µm	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 440.272 µm	

d(0.1): 135.666 µm      d(0.5): 420.968 µm      d(0.9): 783.926 µm

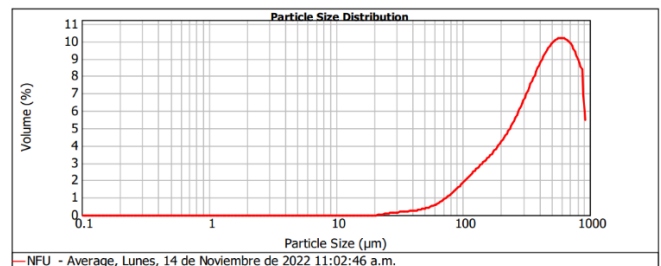


Gráfico 4. Distribución de partículas Mastersizer 2000.

Comparando ambos ensayos se aprecia como aumenta la superficie específica cuando se utiliza el analizador de partículas que se encuentra en el LEMaC y que requiere un tamizado previo menor al requerido por el Mastersizer 2000.

### 4. Discusión

La superficie específica del polvo de caucho de NFU puede influir significativamente en las mezclas asfálticas, ya que la misma determina la cantidad de superficie disponible para la interacción química entre el polvo de caucho y el ligante asfáltico. Esto

puede tener varios efectos en las propiedades de las mezclas bituminosas, como la mejora de la adherencia y la cohesión entre el polvo de caucho y el ligante. Además, interfiere directamente en el proceso de digestión del material al momento de producir la mezcla asfáltica modificada.

## 5. Conclusiones

La elección del método de análisis de partículas dependerá de los objetivos específicos de la caracterización de los materiales en cuestión y de las características de las partículas a analizar. Los métodos tradicionales de análisis de partículas, como la microscopía o el tamizado, son muy útiles y adecuados para obtener información acerca de las partículas en estudio, pero tienen ciertas limitaciones. Para conseguir un análisis más eficaz es necesario complementar estos métodos con otros más avanzados, como a través del uso del Analizador de Tamaño y Distribución de Partículas. El análisis de partículas por láser es un método efectivo que además permite medir la superficie específica del polvo de caucho y optimizar la formulación de la mezcla.

## Referencias bibliográficas

- Inclusión de caucho reciclado en mezclas asfálticas. Tesis para Magíster en Ingeniería Ambiental. Botasso, H. G., (2004).
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), (2007), Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas, España.
- CILAS - Particle Size Analysers, (2004), User Manual, Estados Unidos.
- CILAS - Particle Size Analysers, (2004), Theory & Applications of Laser Diffraction, Estados Unidos.
- IESMAT, S.A., Principios Básicos del Análisis del Tamaño de Partículas, España.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), (2011), Asfalto con incorporación de caucho reciclado por vía húmeda para uso vial: Clasificación y requisitos; Argentina.
- International Organization for Standardization (ISO), (1999), Particle Size Analysis - Laser Diffraction Methods, Part 1: General Principles, Estados Unidos.





# ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN CRÍTICA DE FILLER CAL EN DISPERSIONES DE ASFALTO CON POLVO DE NEUMÁTICO FUERA DE USO

**Becario/s:** Gelsi, Agustina. (agelsi@alu.frlp.utn.edu.ar)

**Director/res:** Zapata Ferrero, Ignacio (izapata@frlp.utn.edu.ar)  
LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP-CIC PBA, Argentina.  
lemac@frlp.utn.edu.ar

**Área:** Tecnología de los Pavimentos Flexibles.

**PID Asociado:** "Utilización de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en elementos de la construcción vial"



## Resumen

La adición de relleno mineral modifica el comportamiento reológico del ligante, el cual influye significativamente en las propiedades de las mezclas asfálticas, tales como la resistencia al ahuellamiento, la resistencia a la fatiga y la susceptibilidad térmica. En la actualidad, no existe un parámetro en las especificaciones sobre el contenido óptimo de filler a incorporar en mezclas modificadas con polvo de Neumático Fuera de Uso (NFU).

En el presente trabajo de investigación se realiza un análisis del comportamiento de mezclas asfálticas modificadas con cantidades variables de polvo de NFU ante la incorporación de relleno mineral en distintas concentraciones. Se busca establecer un criterio sobre el contenido óptimo de filler a incorporar, a través de la evaluación de las respuestas de la mezcla al ensayo de punto de ablandamiento y barrido de temperatura, y su posterior comparación con las mezclas asfálticas convencionales.

**Palabras claves:** Filler, Polvo de Neumático Fuera de Uso, Reología

## 1. Marco teórico

Las problemáticas más habituales en los pavimentos asfálticos son el ahuellamiento, la falla por fatiga y la susceptibilidad térmica, que surgen como consecuencia de dosificaciones incorrectas y/o formas de colocación, mezclado y compactación de las mezclas asfálticas.

Las mezclas asfálticas en caliente están compuestas por la combinación de distintos materiales, tales como asfalto, ya sea convencional o modificado, en conjunto con agregados y filler.

Sus propiedades dependen de las concentraciones relativas, en volumen, de sus componentes. Estas proporciones se calculan durante el diseño de las mezclas para obtener un pavimento asfáltico de calidad, apto para su vida en servicio. Las exigencias de servicio que se deben considerar al diseñar una mezcla asfáltica son la durabilidad, la resistencia al deslizamiento, la flexibilidad, la estabilidad y la compactabilidad.

La calidad de un pavimento asfáltico está directamente relacionada con las propiedades de flexibilidad, estabilidad y durabilidad. En términos generales, la flexibilidad es opuesta a la estabilidad. A lo largo de los años, en el diseño de mezclas asfálticas se ha optado por incrementar la estabilidad a expensas de la flexibilidad mediante el

uso de filler; por lo cual es necesario establecer un criterio para adicionar rellenos minerales a las mezclas asfálticas convencionales sin afectar en exceso ninguna de estas dos propiedades.

Este criterio, desarrollado por el Dr. Celestino L. Ruiz [1], se basa en considerar que las mezclas densas están constituidas por un esqueleto granular de agregados gruesos y finos compactados, cuyos vacíos están ocupados parcialmente por la dispersión del filler en el betún asfáltico. La incorporación de relleno mineral modifica la relación entre esfuerzos y deformaciones considerando tiempo y temperatura constante.

Se demostró que existe una relación entre el volumen de filler y el volumen del sistema asfalto-filler para el cual, el agregado de filler aumenta la resistencia a la deformación sin modificar la naturaleza viscosa del betún asfáltico. Esta relación es denominada Concentración Volumétrica "Cv".

El efecto del agregado de filler es beneficioso hasta un determinado valor crítico; por encima de este, el sistema asfalto-filler se comporta como un sólido rígido. Este valor es denominado Concentración Crítica "Cs".

En Argentina, para el diseño de mezclas asfálticas densas en caliente, se limita la adición de filler de modo de no sobrepasar el valor de "concentración

critica" y de esta manera, se permite prever la cantidad máxima aconsejable a agregar sin afectar su resistencia o el resto de sus propiedades.

Los Pliegos de Especificaciones Técnicas de la Dirección Nacional de Vialidad [2] indican que, para mezclas elaboradas con ligantes convencionales, la concentración volumétrica  $C_v$  del relleno mineral no debe superar su concentración crítica  $C_s$ , es decir, se debe cumplir una relación  $C_v/C_s \leq 1$ . Para mezclas arena asfalto elaboradas con asfaltos modificados, la concentración volumétrica  $C_v$  del relleno mineral no debe superar su concentración crítica  $C_s$  en más de un 10%, es decir, se debe cumplir una relación  $C_v/C_s \leq 1,1$ .

Sin embargo, en el caso de mezclas elaboradas con asfaltos modificados con polvo de NFU, no existe normativa al respecto ni estudios que evalúen la influencia del contenido de filler.

En el presente trabajo se busca establecer un criterio para determinar el contenido óptimo de filler a incorporar a las mezclas asfálticas modificadas con polvo de NFU.

### 1.1. Influencia del filler en las mezclas asfálticas

#### 1.1.1. Relleno mineral o "Filler"

Se denomina "filler" a un producto de origen mineral finamente subdividido donde no menos del 65% pasa el Tamiz IRAM 75 micrómetros (N°200). El relleno mineral puede provenir de las fracciones componentes del árido o de un material de aporte a tal fin (cemento, cal, material calcáreo, cenizas volantes, etc.). De esta forma, se pueden obtener distintos tipos de filler.

- Filler calcáreo
  - Cal hidratada
  - Cal hidráulica hidratada
- Filler calizo
- Filler granítico

#### 1.1.2. Función del filler en las mezclas asfálticas

- Permite obtener mezclas asfálticas más densas sin la necesidad de incorporar mayor cantidad de betún asfáltico. Esto se debe a que el agregado de filler rellena los espacios libres entre las partículas de agregados gruesos.
- Incrementa la estabilidad de las mezclas asfálticas, optimizando las propiedades reológicas del asfalto. Esto es posible cuando la concentración volumétrica del mastic es tal, que permite un aumento de la resistencia al corte de las mezclas asfálticas sin afectar la viscosidad del asfalto.

- Disminuye la porosidad y de esta manera impide el ingreso de agentes externos, por lo que aumenta su durabilidad.



Figura 1. Dispersión asfalto – filler en distintas proporciones. Fuente: elaboración propia.

En conclusión, la adhesión de filler a las mezclas asfálticas provee diversos beneficios dado que modifica las propiedades del asfalto; produce un aumento de su consistencia, una mayor viscosidad y una reducción de la susceptibilidad térmica; lo cual le otorga a la mezcla una mayor estabilidad, mayor resistencia y una mejor adherencia entre los áridos y el ligante asfáltico [3].

### 1.2. Aspectos reológicos del asfalto

El asfalto es un material viscoelástico que presenta un comportamiento reológico muy complejo. La respuesta del asfalto frente a las solicitaciones depende de la temperatura, la magnitud y tiempo de aplicación de carga.

El asfalto presenta entonces, un comportamiento intermedio entre el sólido de Hooke (elástico) y el líquido de Newton (viscoso). A bajas temperaturas posee un comportamiento elástico mientras que a altas temperaturas posee un comportamiento viscoso; en temperaturas de servicio presenta ambos comportamientos en simultáneo [4].

Para caracterizar las propiedades viscoelásticas del asfalto se utiliza el reómetro de corte dinámico, también conocido por sus siglas en inglés como DSR, *Dynamic Shear Rheometer*, el cual determina dos parámetros reológicos representativos: el Módulo de Corte Complejo ( $G^*$ ) y el ángulo de fase ( $\delta$ ).

El módulo de corte complejo  $G^*$  es una medida de la resistencia total a la deformación de un ligante.

Se define como el cociente entre el máximo esfuerzo aplicado ( $\tau_{max}$ ) y la máxima deformación registrada ( $\gamma_{max}$ ), como se puede ver en la Ecuación 1.

$$G^* = \frac{\tau_{max}}{\gamma_{max}} \quad \text{Ecuación 1}$$

El módulo de corte complejo está constituido por una componente elástica, denominada Módulo de

Almacenamiento ( $G'$ ) y una componente viscosa, denominada Módulo de Pérdida ( $G''$ ).

El módulo de almacenamiento se relaciona con la energía almacenada en el material mientras que el módulo de pérdida se relaciona con la energía disipada. Estas componentes se vinculan a través del ángulo de fase en una suma vectorial.

El ángulo de fase  $\delta$  es el desfase existente entre la tensión y la deformación y representa un índice de la viscoelasticidad del material. Está comprendido entre  $0^\circ < \delta < 90^\circ$ .

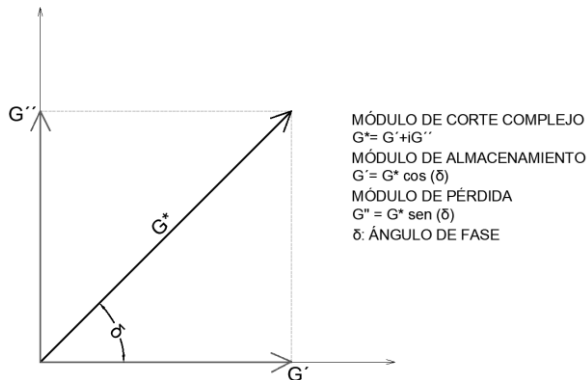


Figura 2. Módulo de corte y ángulo de fase.  
Fuente: elaboración propia.

Cuando un material es elástico, la tensión y la deformación están en fase, por lo que  $\delta=0^\circ$ . En estos casos,  $G^* \approx G'$ .

Cuando un material es viscoso, la tensión aplicada y la deformación resultante están en desfase, por lo que  $\delta=90^\circ$ . En estos casos,  $G^* \approx G''$ .

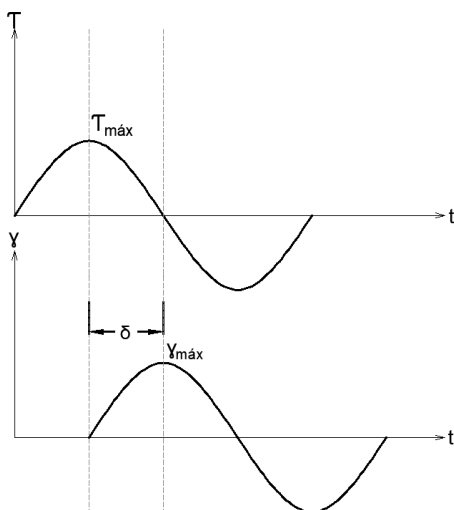


Figura 3. Comportamiento viscoelástico. ( $0^\circ < \delta < 90^\circ$ ).  
Fuente: elaboración propia.

### 1.3. Superpave

SUPERPAVE (*Superior Performing Asphalt Pavement*), es un programa estadounidense de

diseño de asfaltos y mezclas asfálticas de altas prestaciones, que se diferencia de los métodos tradicionales al considerar la dependencia directa de la resistencia del ligante con la temperatura y el envejecimiento a lo largo de su vida útil [5].

En cuanto al diseño de asfaltos, este método define tres tipos de fallas:

- Ahuellamiento
- Fisuración por fatiga
- Fisuración térmica

En la especificación de ligantes, SUPERPAVE establece para el ahuellamiento el parámetro  $G^*/\sin(\delta)$ . Dicho parámetro se especifica con un valor mínimo de 1 kPa para asfaltos vírgenes y 2,2 kPa para el residuo de RTFOT [6].

En este trabajo de investigación se evalúa mediante punto de ablandamiento y el parámetro  $G^*/\sin(\delta)$ , la influencia de filler cal en las dispersiones de asfalto modificado con tasas crecientes de polvo de NFU para cuantificar el aumento de rigidez que presentan las muestras.

## 2. Desarrollo experimental

### 2.1. Materiales

Para la elaboración de las muestras se utiliza un ligante asfáltico convencional clasificado por viscosidad como CA-30 y polvo de neumático fuera de uso (NFU) como modificador del asfalto base. Se adiciona el polvo de NFU en tasas crecientes de 15%, 18%, 20%, 22% y 25%, con un dispersor de altas revoluciones hasta obtener una mezcla homogénea; y se obtiene en total 6 muestras de ligantes, las cuales se caracterizan mediante el ensayo de punto de ablandamiento.

Como relleno mineral se utiliza cal hidratada y se le realiza el ensayo de peso específico aparente y concentración crítica para su caracterización.

### 2.2. Ensayos [7]

#### 2.2.1. Peso Específico Aparente del relleno mineral (VN - E15 - 89)

Se denomina peso específico aparente a la relación existente entre el peso seco del material y el volumen desplazado.

Se calcula como:

$$P.E.A = \frac{P}{V_D} = \frac{P}{V_F - V_I} \left[ \frac{g}{cm^3} \right] \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

P.E.A. = Peso específico aparente.

P = Peso seco del material introducido en el volumenómetro.

V = Volumen del kerosene anhidro desplazado por la muestra.



### 2.2.2. Concentración crítica del relleno mineral (VN - E11 - 67)

Se denomina Concentración Crítica "Cs" al valor crítico de la concentración del relleno mineral en una mezcla de filler y betún, por encima del cual tal mezcla comienza a perder su carácter viscoso.

La concentración crítica se calcula como:

$$C_s = \frac{P}{V * P.E.A} [\text{adimensional}] \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Cs: Concentración crítica.

P: Peso del relleno mineral.

V: Volumen del relleno mineral.

P.E.A: Peso específico aparente del relleno mineral determinado según VN - E15 - 89.

### 2.2.3. Punto de Ablandamiento (IRAM 6841)

Se denomina punto de ablandamiento a la temperatura a la cual el material de los anillos se ablanda lo suficiente para permitir que cada esfera caiga y toque la chapa de bronce colocada debajo. Este ensayo se utiliza para determinar la consistencia del betún asfáltico y, en conjunto con el ensayo de penetración (IRAM 6576), establecer la susceptibilidad térmica del mismo para luego clasificarlo por medio del índice de penetración.

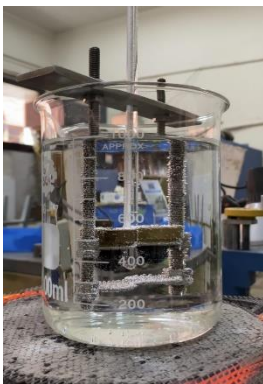


Figura 4. Ensayo Punto de Ablandamiento.

Fuente: elaboración propia.

### 2.3. Preparación de las muestras

Se realizan dispersiones de filler calcáreo en distintas concentraciones en las muestras de ligante.

Se opta por 4 relaciones Cv/Cs de 0 hasta 1 (relación límite establecida para ligantes convencionales según la DNV): 0,00; 0,40; 0,80; 1,00; y junto al valor de concentración crítica obtenido se determinó la cantidad de filler, en volumen, a agregar para cada dispersión.

Para confeccionar las muestras, se tamiza el relleno mineral por el Tamiz N°40 y se lo seca en estufa hasta peso constante.

Luego se procede a calentar el asfalto a una temperatura comprendida entre 140° y 160°C hasta obtener la consistencia deseada y se lo coloca en recipientes cilíndricos de aproximadamente 90 mm de diámetro.

Se pesa el contenido de filler requerido según los cálculos y se introduce cuidadosamente en el recipiente con la ayuda de un embudo. Con un agitador de alambre, se mezclan los materiales hasta lograr una mezcla homogénea.



Figura 5. Muestras de CA30-15NFU con distintas relaciones de Cv/Cs.

Fuente: elaboración propia.

### 2.4. Metodología

Siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 6841 se determina el Punto de Ablandamiento de todas las muestras de las dispersiones asfalto - filler. Se utiliza el reómetro de corte dinámico para realizar el ensayo de Barrido de Temperatura, en un rango comprendido entre 58° C a 88° C para el asfalto sin polvo de NFU y de 64° C a 88° C para el asfalto modificado. Dicho ensayo se utiliza para determinar el módulo de corte dinámico y el ángulo de fase cuando se aplica un esfuerzo de corte oscilatorio a una frecuencia oscilatoria constante de 10 rad/s. La geometría utilizada es en su formato de platos paralelos de 25 mm de diámetro, incluyendo una pastilla de 1 mm de espesor.

### 3. Resultados

#### 3.1. Peso específico y concentración crítica

En la Tabla 1 se observan los resultados de peso específico y concentración crítica realizados sobre el filler utilizado.

Tabla 1: Resultados de peso específico y concentración crítica

Muestra	Peso específico [g/cm3]	Concentración Crítica [Adimensional]
Filler Cal Hidráulica	2,529	0,171

### 3.2. Punto de ablandamiento

En la Tabla 2, se presentan los resultados del ensayo de punto de ablandamiento de todas las muestras.

Tabla 2: Resultados de Punto de Ablandamiento

Punto de Ablandamiento [°c]						
Cv/Cs	CA-30	CA-30 + 15%NFU	CA-30 + 18%NFU	CA-30 + 20%NFU	CA-30 + 22%NFU	CA-30 + 25%NFU
0	53	59,615	60,665	62,24	63,305	67,5
0,4	56	65	65,5	67	68	73
0,8	58,615	68,74	73,93	75,5	75,925	87,25
1	61,125	72,73	80,6	90,5	89,5	100,9

### 3.3. Barrido de temperatura

En las siguientes figuras, se presentan curvas de variación del parámetro  $G^*/sen(\delta)$  a temperaturas de 64 °C; 70 °C, 76 °C; 82 °C y 88 °C obtenidas del ensayo de barrido de temperatura.

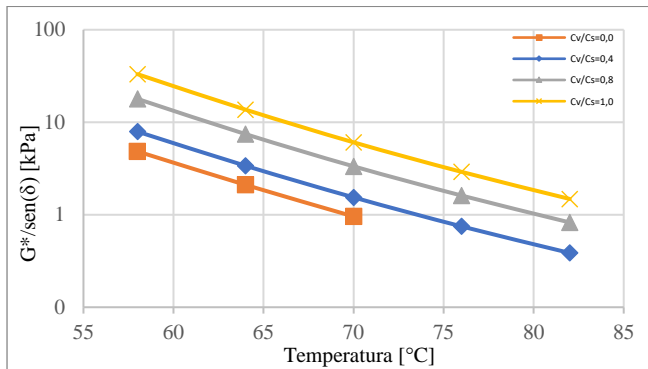


Figura 6 - Barrido de Temperatura CA30.

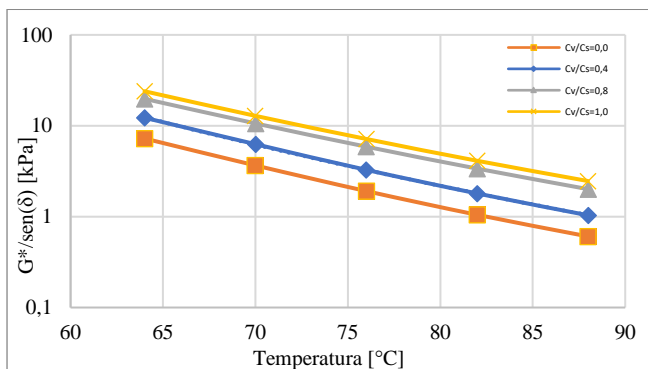


Figura 7 - Barrido de Temperatura CA30-15NFU.

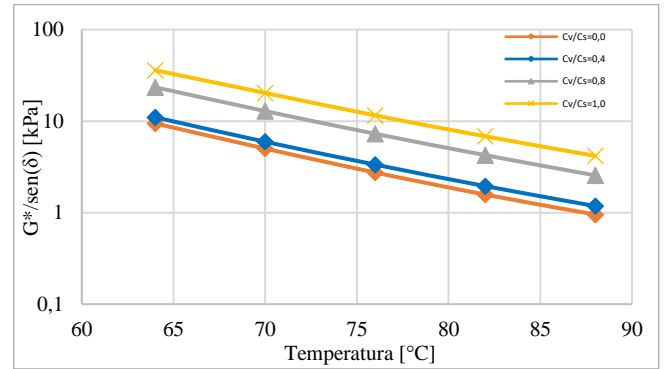


Figura 8 - Barrido de Temperatura CA30-18NFU.

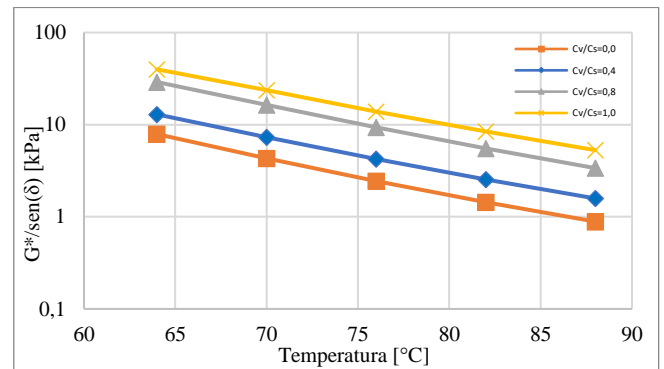


Figura 9 - Barrido de Temperatura CA30-20NFU.

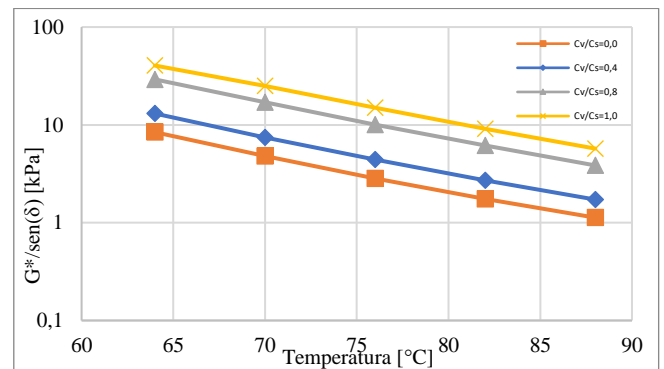


Figura 10 - Barrido de Temperatura CA30-22NFU.

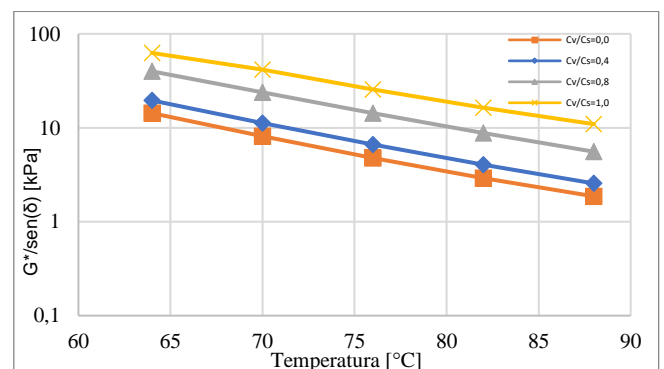


Figura 11 - Barrido de Temperatura CA30-25NFU.

## 4. Discusión

### 4.1. Punto de ablandamiento

De los ensayos de punto de ablandamiento, se observa que las muestras de asfalto convencional CA30 y la muestra de asfalto modificado CA30-

15NFU presentan un comportamiento similar, reflejado en el paralelismo entre las pendientes de ambas curvas, el cual indica una variación, aproximadamente lineal, de los puntos de ablandamiento a medida que aumenta el contenido de filler.

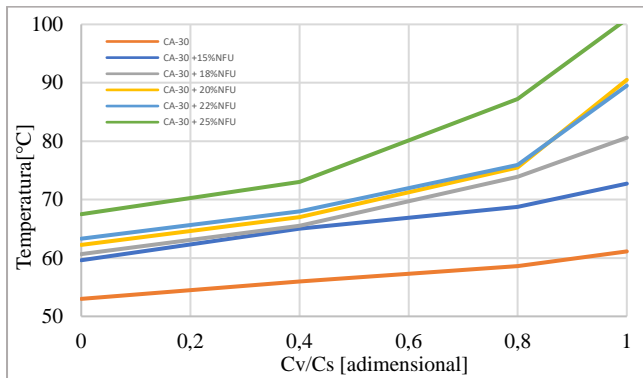


Figura 12 - Curvas de Punto de ablandamiento.

En el resto de las muestras de asfalto modificado, se observan pendientes mayores a valor creciente de contenido de filler, lo cual sugiere un efecto más intensivo de la cal que modifica la consistencia del ligante.

#### 4.2. Barrido de temperatura

Como se puede analizar de las figuras obtenidas, a mayor valor de  $G^*/sen(\delta)$ , menor es la deformación permanente, con un valor mínimo del parámetro establecido por Superpave en 1 kPa.

Se observa que las curvas del parámetro  $G^*/sen(\delta)$  de todas las muestras descienden con el aumento de la temperatura en el rango ensayado de 64°C a 88°C. En consecuencia, se aprecia la tendencia de aumento del ahuellamiento con el incremento de temperatura. Se advierte que, para los asfaltos modificados, a tasas crecientes de polvo de NFU, mayor es el valor del parámetro  $G^*/sen(\delta)$  respecto al asfalto convencional, lo cual se traduce en un desempeño mejor a las deformaciones permanentes.

En la Figura 6 se observa que, para el asfalto convencional CA30 se cumplen las especificaciones de Superpave con relación al valor límite del parámetro  $G^*/sen(\delta) \geq 1 \text{ kPa}$ , hasta una temperatura de 64°C para una relación Cv/Cs = 0, es decir, que es posible predecir un comportamiento óptimo para su uso en el pavimento hasta una temperatura por debajo de 64°C.

En el resto de las muestras de asfalto convencional CA30, se observa que a medida que aumenta la relación Cv/Cs, mayor es la temperatura de falla. Una tendencia similar se observa con las restantes dispersiones de asfalto con polvo de NFU.

#### 5. Conclusiones

En el presente trabajo se realiza la evaluación de dispersiones de seis asfaltos, uno convencional y cinco modificados con tasas crecientes de polvo de NFU, con cuatro concentraciones volumétricas de filler cal (0%, 40%, 80%; 100% respecto a la concentración crítica), mediante el ensayo de punto de ablandamiento y barrido de temperatura. Esta metodología permite confeccionar curvas de parámetro de ahuellamiento versus temperatura.

Del análisis de las curvas reológicas se observa que la incorporación de filler cal produce un aumento del parámetro de ahuellamiento  $G^*/sen(\delta)$  lo cual implica menor deformación permanente en los pavimentos.

Se evidencia que para encontrar el contenido óptimo de filler a incorporar en asfaltos modificados con polvo de NFU, se requieren evaluar más parámetros, ensayos de desempeños sobre mezclas asfálticas, que aporten información sobre la incidencia real del relleno mineral en la variación de las propiedades del asfalto.

Se sugiere realizar una evaluación de otros parámetros reológicos utilizando distintos tipos de relleno mineral, ya sea filler de aporte o material proveniente de la recuperación de áridos, para realizar una comparación del efecto causado por cada uno de ellos.

Es sabido que la adición de polvo de NFU como modificador de asfalto base, posee un efecto beneficioso en las propiedades reológicas del ligante. Se propone como proyecto de investigación futuro, cuantificar la concentración crítica del relleno mineral en mezclas asfálticas modificadas con polvo de NFU, discriminando el efecto del modificador.

#### 6. Referencias bibliográficas

- [1] Ruiz, C. L. (1960). "Concentración crítica de filler, su origen y significado en la dosificación de mezclas asfálticas". Publicación N°11. Dirección Nacional de Vialidad. Argentina.
- [2] "Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Concretos Asfálticos en Caliente y Semicaliente del tipo Densos." (2017). Dirección Nacional de Vialidad. Argentina.
- [3] Bottaso, G. (2015). "Valoración del desempeño de una mezcla asfáltica densa modificando el tipo de filler y asfalto". LEMaC Centro de Investigaciones Viales CIC PBA. Argentina.
- [4] García Quesada, J.C. (2008). "Tema 3. Viscoelasticidad". Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Alicante. Chile.

- [5] Osio, H.D. (2001). *"SHRP – SUPERPAVE: Ligantes asfálticos"*. Área de Tecnología Vial – CIC – LEMIT. Argentina.
- [6] Speight, J. G. (2015). *Asphalt materials science and technology*. Butterworth-Heinemann.
- [7] *"Normas de ensayo"* (2017). Dirección Nacional de Vialidad. Argentina.
- [8] Ruiz, C. L. (1960). *"Sobre las propiedades mecánicas del sistema filler-betún"*
- [9] Bianchetto, H, Miró, R., Pérez Jimenez, F & Martinez, A. (2007). *"Effect of calcareous fillers on bituminous mix aging"*
- [10] AASHTO M320-16 (2012). *Performance - Graded asphalt binder*
- [11] HMEC. *Manual asphalt binder PG test*.
- [12] Torres Dahbura, E.A. (2015). *"Estudio de la estructura química, comportamiento reológico y susceptibilidad al envejecimiento, de asfaltos modificados, evaluados por desempeño a fatiga, ahuellamiento, daño por humedad y susceptibilidad a la propagación del agrietamiento"*. Colombia.





# PUESTA A PUNTO DE LOS EQUIPOS AUTOMATICOS DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO Y PENETRACIÓN DE LOS ASFALTOS

**Becario/s:** Nuñez Maia (manunez@alu.frlp.utn.edu.ar)

**Director/res:** Rebollo Oscar (orebollo@frlp.utn.edu.ar)

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

**Área:** Tecnología de los Pavimentos Flexibles

**PID Asociado:** "Análisis reológicos de asfaltos convencionales y modificados a efectos de predecir su desempeño en mezclas asfálticas"

Código UTN: IFI ECIFNCO0005288



## Resumen

Este trabajo de investigación consiste en desarrollar la puesta a punto de los equipos automáticos de punto de ablandamiento y penetración, comparando y realizando ensayos con los equipos manuales, con el fin de corroborar su perfecto funcionamiento, para lo cual se evaluarán asfaltos convencionales y modificados, además de asistir al trabajo de investigación "Análisis de la concentración crítica de filler cal en dispersiones de asfalto con polvo de neumático fuera de uso", el cual será presentado en forma simultánea en el presente libro.

**Palabras clave:** Asfalto, automatización, penetración, punto de ablandamiento.

## 1. Introducción

En la actualidad se tiende a automatizar los ensayos que se hacen manualmente, con el fin de corregir los posibles errores humanos, de esta manera se obtiene mayor precisión a la hora de caracterizar los asfaltos. En nuestro caso analizaremos los equipos para los ensayos de asfaltos, de punto de ablandamiento según la norma IRAM-6841, y el ensayo de penetración con la norma IRAM-6576.

## 2. Ensayo punto de ablandamiento

### 2.1 Materiales y Métodos

#### 2.1.1 Materiales

Para la evaluación del ensayo se seleccionaron los siguientes asfaltos: uno convencional CA-30 y otros modificados en LEMaC con caucho, con los siguientes porcentajes: 15%, 18%, 20%, 22% y 25%.

Se utilizará el asfalto CA-30 con el agregado de cal en su matriz como filler con las siguientes concentraciones críticas: 0,8; 1; 1,1 y 1,3.

Además, se valorarán asfaltos modificados con NFU anteriormente mencionados, a los cuales también se le adiciona cal en su matriz como filler con las concentraciones precedentemente indicadas, para su evaluación.

El filler utilizado es una cal hidráulica de venta comercial.

#### 2.1.2 Método

Este ensayo se realiza bajo la norma IRAM-6841 para conocer la consistencia de los asfaltos a través del punto de ablandamiento.

Se considera como punto de ablandamiento a la temperatura en la cual el asfalto se hace lo suficientemente blando.

El método consiste en el empleo de anillos de bronce que se llenan con el material fluido, luego se lo deja enfriar hasta que solidifique. Seguidamente se introducen los anillos con la muestra, en una posición específica, dentro de un baño de agua o de glicerina a temperaturas determinadas; se colocan las esferas de acero sobre el material de ensayo en el centro del anillo, dejando acondicionar unos 15 minutos y se incrementa la temperatura a una velocidad de  $5 \pm 0,5$  °C/min. Cuando el material atraviesa el anillo, empujado por el peso de la esfera de acero, y toca el fondo de la chapa de bronce colocada abajo, se toma la lectura de la temperatura en ese instante y se considera como el punto de ablandamiento de la muestra.

## 2.2 Desarrollo del trabajo

### 2.2.1 Repetibilidad

Para que los resultados de los ensayos de cada tipo de asfalto sean representativos se realizan no menos de 10 ensayos para cada uno. Cada uno consta de dos resultados, cuya diferencia se observa en la Tabla N°1 según lo que estable la norma:

Punto de ablandamiento (a)	Diferencia entre los resultados de ensayo
$30\text{ °C} > a$	1,0 °C
$30\text{ °C} \leq a \leq 80\text{ °C}$	0,5 °C
$80\text{ °C} < a$	1,0 °C

Tabla N°1: Repetibilidad

### 2.2.2 Reproducibilidad

La diferencia obtenida entre dos operarios para el mismo ensayo no debe superar los valores que se muestran en la Tabla N°2 establecido por la norma:

Punto de ablandamiento (a)	Diferencia entre los resultados de ensayo
30 °C > a	2,0 °C
30 °C ≤ a ≤ 80 °C	1,0 °C
80 °C < a	2,0 °C

Tabla N°2: Reproducibilidad

### 2.2.3 Equipo automático

El equipo automático posee un lector de temperatura digital con dos decimales, con un calentador automático de  $5 \pm 0,5$  °C/min. Al comienzo del ensayo, durante 3 minutos, se estabiliza el equipo para que el avance de la temperatura sea la correcta.

La lectura final se realiza cuando la bola de acero corta un rayo infrarrojo que está a la altura de la chapa inferior. Este resultado se imprime automáticamente.

### 2.2.4 Equipo Manual

El equipo manual necesita de un operario que ejecute la lectura de temperatura y vaya graduando la velocidad de aumento de esta, la lectura final queda en manos de este mismo. El termómetro no se encuentra incorporado en la estructura y para su calentamiento se utiliza una fuente de calor.

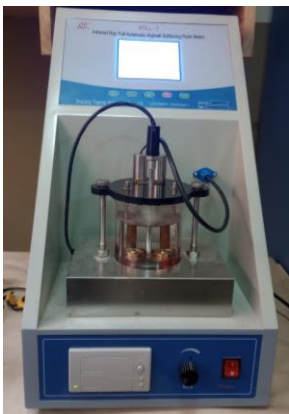


Figura 1 - Equipo Automático de punto de ablandamiento.

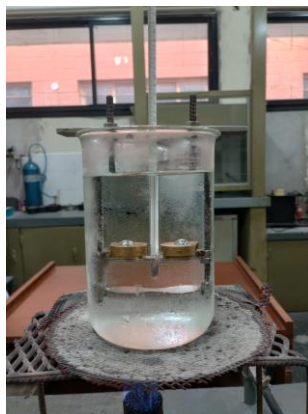


Figura 2 - Equipo Manual de punto de ablandamiento.

En la Figura 1 se muestra el equipo automático, en la Figura 2 se muestra el equipo manual.

## 2.3 Resultados y análisis del resultado

### 2.3.1 Asfalto CA-30

La recolección de datos de los puntos de ablandamiento del asfalto CA-30 se muestra en la Tabla N°3.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Punto Abland. (°C)	Índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automát. de Punto de abland. (°C)	Índice de Efectividad Automát. (%)	Índice De Efectividad Entre Manual Y automat. (%)
CA-30	52,5	100,3	52	99,4	
	52,3	99,9	52	99,4	
	52,2	99,7	52,5	100,4	
			52,1	99,6	
			52,5	100,4	
			52,5	100,4	
			52,5	100,4	
Promedio	52,3		52,3		100

Tabla 3: CA-30. Punto de ablandamiento. Norma IRAM 6841

Se observa que es representativo ya que el índice de efectividad es del 100% entre ambos ensayos y está dentro de la tolerancia.

### 2.3.2 Asfalto CA-30 con distintas concentraciones críticas

Para los asfaltos CA-30 con sus distintas concentraciones críticas se obtuvo los resultados que se muestran en la Tabla N°4.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Punto Abland. (°C)	Índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automát. de Punto de abland. (°C)	Índice de Efectividad Automát. (%)	Índice De Efectividad Entre Manual Y automat. (%)
CA-30 Cv/Cs=0,8	59,0		58,6		99,3
CA-30 Cv/Cs=1	61,0		61,1		100,2
CA-30 Cv/Cs=1,1	61,0		61,2		100,3
CA-30 Cv/Cs=1,3	66,0		65,5		99,2

Tabla 4: CA-30 + Cv/Cs. Punto de ablandamiento. Norma IRAM 6841.

Se observa que se contempla la efectividad, por lo que se ensayan una sola vez en cada equipo. Es representativo ya que el índice de efectividad entre ambos ensayos está dentro de la tolerancia.

### 2.3.3 Asfalto CA-30+15%NFU

Para el asfalto CA-30 + 15%NFU se obtuvo los siguientes valores que se muestran en la Tabla N°5.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Punto Abland. (°C)	Índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automát. de Punto de abland. (°C)	Índice de Efectividad Automát. (%)	Índice De Efectividad Entre Manual Y automat. (%)
CA-30 +15%NFU	59,5	99,6	60,3	100,3	
	60,0	100,4	59,8	99,5	
			60,2	100,2	
Promedio	59,8		60,1		100,6

**Tabla 5: CA-30 + 15%NFU. Punto de ablandamiento. Norma IRAM 6841**

Se observa que es representativo ya que el índice de efectividad es del 100% entre ambos ensayos y está dentro de la tolerancia.

### 2.3.4 Asfalto CA-30+18%NFU

Para el asfalto CA-30 + 18%NFU se obtuvo los siguientes valores que se muestran en la Tabla N°6.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Punto Abland. (°C)	Índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automát. de Punto de abland. (°C)	Índice de Efectividad Automát. (%)	Índice De Efectividad Entre Manual Y automat. (%)
CA-30 +18%NFU	61,0	100,0	60,7	99,6	
			61,2	100,4	
			60,9	99,9	
Promedio	61,0		60,9		99,9

**Tabla 6: CA-30 +18%NFU. Punto de ablandamiento. Norma IRAM 6841.**

Se observa que es representativo ya que el índice de efectividad es del 99,9% entre ambos ensayos y está dentro de la tolerancia.

### 2.3.5 Asfalto CA-30+20%NFU

Para el asfalto CA-30 + 20%NFU se obtuvo los siguientes valores que se muestran en la Tabla N°7.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Punto Abland. (°C)	Índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automát. de Punto de abland. (°C)	Índice de Efectividad Automát. (%)	Índice De Efectividad Entre Manual Y automat. (%)
CA-30 +20%NFU	62,0	100,0	62,3	100,0	
Promedio	62,0		62,3		100,5%

**Tabla 7: CA-30 +20%NFU. Punto de ablandamiento. Norma IRAM 6841.**

Se observa que es representativo ya que el índice de efectividad es del 100% entre ambos ensayos y está dentro de la tolerancia.

### 2.3.6 Asfalto CA-30+22%NFU

Para el asfalto CA-30 + 22%NFU se obtuvo los siguientes valores que se muestran en la Tabla N°8.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Punto Abland. (°C)	Índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automát. de Punto de abland. (°C)	Índice de Efectividad Automát. (%)	Índice De Efectividad Entre Manual Y automat. (%)
CA-30 +22%NFU	63,0	100,0	63,3	100,0	
Promedio	63,0		63,3		100,5

**Tabla 8: CA-30 +22%NFU. Punto de ablandamiento. Norma IRAM 6841.**

Se observa que es representativo ya que el índice de efectividad es del 100 % entre ambos ensayos y está dentro de la tolerancia.

### 2.3.7 Asfalto CA-30+25%NFU

Para el asfalto CA-30 + 25%NFU se obtuvo los siguientes valores que se muestran en la Tabla N°9.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Punto Abland. (°C)	Índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automát. de Punto de abland. (°C)	Índice de Efectividad Automát. (%)	Índice De Efectividad Entre Manual Y automat. (%)
CA-30+ 25%NFU	67,5	99,6	67,7	100,1	
	68,0	100,4	67,5	99,9	
Promedio	67,8		67,6		99,8

**Tabla 9: CA-30 +25%NFU. Punto de ablandamiento. Norma IRAM 6841.**

Se observa que es representativo ya que el índice de efectividad es del 99,8% entre ambos ensayos y está dentro de la tolerancia.

### 2.3.8 Asfalto CA-30+15%NFU con las distintas concentraciones críticas

Para el asfalto CA-30 + 15%NFU con diferentes concentraciones críticas se obtuvo los siguientes valores que se muestran en la Tabla N°10.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Punto Abland. (°C)	Índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automát. de Punto de abland. (°C)	Índice de Efectividad Automát. (%)	Índice De Efectividad Entre Manual Y automat. (%)
CA-30 + 15%NFU Cv/Cs=0,8			68,7		
CA-30 + 15%NFU Cv/Cs=1			72,7		
CA-30 + 15%NFU Cv/Cs=1,1			74,1		
CA-30 + 15%NFU Cv/Cs=1,3	90,7		87,0		

**Tabla 10: CA-30 + 15%NFU + Cv/Cs. Punto de ablandamiento. Norma IRAM 6841.**

Como se pudo demostrar que los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el equipo automático son representativos comparados con los obtenidos con el equipo manual, no se realizaron los ensayos con este último.

Para el caso de los asfaltos CA-30+15%NFU con Cv/Cs= 0,8; 1 y 1,1, los puntos de ablandamiento estuvieron por debajo de los 80°C.

En el caso del CA-30 + 15% NFU Cs/Cv=1,3, el punto de ablandamiento supera los 80°C, debido a esto se procedió a cambiar el medio de ensayo, glicerina por agua, y el ensayo se realiza con ambos equipos. En el equipo automático no se pudieron obtener buenos resultados debido a que fallaba a la hora de tomar el dato final, solamente una vez se pudo obtener un valor, el cual difiere en mucho con el punto de ablandamiento obtenido en el equipo manual.

Quedando para analizar en un futuro detectar porque falla el equipo automático al cambiar el medio de ensayo.

### 2.3.9 Asfalto CA-30+18%NFU con las distintas concentraciones críticas

Para el asfalto CA-30 + 18% con diferentes concentraciones críticas se obtuvo los siguientes valores que se muestran en la Tabla N°11.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Punto Abland. (°C)	índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automát. de Punto de abland. (°C)	índice de Efectividad automático (%)	índice De Efectividad Entre Manual Y automático (%)
CA-30 + 18%NFU Cv/Cs=0,8			73,0		
CA-30 + 18%NFU Cv/Cs=1			80,0		
CA-30 + 18%NFU Cv/Cs=1,1	104,5				

**Tabla 11: CA-30 + 18%+ Cv/Cs. Punto de ablandamiento. Norma IRAM 6841.**

Se continuo con la modalidad de ensayar los puntos de ablandamiento de forma automática para los ensayos con valores menores a 80°C y de forma manual para los que superen los 80°C.

### 2.3.10 Asfalto CA-30+20%NFU con las distintas concentraciones críticas

Para el asfalto CA-30 + 20% con diferentes concentraciones críticas se obtuvo los siguientes valores que se muestran en la Tabla N°12.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Punto Abland. (°C)	índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automát. de Punto de abland. (°C)	índice de Efectividad automático (%)	índice De Efectividad Entre Manual Y automático (%)
CA-30 + 20%NFU Cv/Cs=0,8	75,5		75,4		99,9
CA-30 + 20%NFU Cv/Cs=1	90,5				
CA-30 + 20%NFU Cv/Cs=1,1	97,5				

**Tabla 12: CA-30 + 20% + Cv/Cs. Punto de ablandamiento. Norma IRAM 6841.**

En este caso continuamos con los análisis del punto de ablandamiento en forma manual y automática, para el asfalto modificado con una concentración crítica de 0,8, verificándose nuevamente el muy buen funcionamiento del equipo automático.

Se continuo con la modalidad de ensayar los puntos de ablandamiento de forma manual al tener valores mayores a 80°C con este asfalto modificado.

## 3. ENSAYO PUNTO DE PENETRACION

### 3.1 Materiales y Métodos

#### 3.1.1 Materiales

Para la evaluación de los ensayos se seleccionaron los siguientes asfaltos convencionales CA-10; CA-20; CA-30.

Se utilizaron asfaltos modificados en LEMaC con caucho, en distintos porcentajes 15%; 18%; 20%.

#### 3.1.2 Método

Este ensayo se realiza bajo la norma IRAM -6576 para conocer la consistencia de los asfaltos.

Se define penetración a la consistencia del asfalto, que se expresa como la distancia en decimas de milímetro, que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de material, bajo condiciones de carga, tiempo y temperatura. Cuando las condiciones de ensayo no estén expresamente indicadas, se da por sentado que la temperatura, la masa de la carga y el tiempo son 25°C, 100 g y 5 s, respectivamente.

A mayor valor de la penetración, más blanda es la consistencia y a menor valor de penetración mas dura es la consistencia.

Este procedimiento consiste en verter el material fluido en cuatro recipientes, de las cuales se utilizan dos para los ensayos y las restantes se conservan en caso de que deba repetirse el ensayo, se calientan 30 minutos para que no quede aire en la muestra, luego se cubren para protegerlas del polvo y se dejan enfriar para posteriormente realizar el ensayo. Las muestras deben ser acondicionadas en



un baño de agua a 25° C entre 90min a 120min en nuestro caso.

Se selecciona una aguja teniendo en cuenta la penetración esperada, y se coloca en el penetrómetro. Se carga el penetrómetro y se ajusta la posición de esta, bajándola con cuidado hasta tocar la superficie de la muestra. La punta de la aguja tiene que tocar su imagen reflejada.

Se lee la indicación de la aguja o bien se lleva a cero, simultáneamente se comienza a tomar el tiempo y se libera la aguja del sistema portante por el tiempo especificado.

Se efectúan 3 determinaciones sobre cada muestra en puntos situados a 10 mm del borde del recipiente con una separación de 10 mm entre sí.

### 3.2 Desarrollo del trabajo

Para que los valores de los ensayos sean representativos se realiza un promedio de las 3 determinaciones siempre que la diferencia entre el valor mayor y menor sea menor o igual que unos valores determinados por la norma como muestra la Tabla N°13.

	Penetraciones (0,1 mm)			
	0 a 49	50 a 149	150 a 200	250 a 500
Máxima diferencia entre el mayor y menor valor obtenido (en 0,1 mm)	2	4	12	20

Tabla N°13: Cálculo de promedio de los resultados de las tres determinaciones

Si la diferencia es mayor se repite el ensayo en las muestras reservadas.

Si no cumple se descartan los valores obtenidos y se realiza un nuevo ensayo.

#### 3.2.1 Repetibilidad

Para la repetibilidad La diferencia absoluta entre dos resultados de ensayo individuales, obtenidos sobre idéntico producto, por un mismo operario, para un nivel de confianza de 95 %, no será mayor que 4 % (respecto al promedio) o 1 unidad, adoptando el que sea mayor entre ambos.

#### 3.2.2 Reproducibilidad

Para la reproducibilidad la diferencia absoluta entre dos resultados de ensayo individuales, obtenidos sobre idéntico producto en dos laboratorios diferentes, por diferentes operarios, empleando el método normalizado, para un nivel de confianza de 95 %, no será mayor que 11 % (respecto al promedio) o 4 unidades, adoptando el que sea mayor entre ambos.

#### 3.2.3 Equipo automático

Para el comienzo del ensayo con el equipo automático, se procede al igual que en el ensayo manual, la aguja debe colocarse sobre la superficie del asfalto de forma manual.

El tiempo de caída de la aguja, el equipo lo hace de forma automática, viéndose el resultado en la pantalla digital, repitiéndose esto para cada punto de ensayo.

El equipo automático consta de un contenedor de muestra con resistencia para poder mantener la temperatura de baño deseada. En cuanto a la precisión de desplazamiento.

#### 3.2.4 Equipo manual

El equipo manual consta equipos auxiliares al penetrómetro, el baño de agua termostatzado, para las muestras de ensayo.

El ensayo se realiza presionando el botón de seguridad del sistema, el cual deja caer a la aguja libremente, mientras se toma el tiempo de penetración, una vez llegado a este se suelte el dispositivo de seguridad, quedando fijan la aguja al finalizar el ensayo, la lectura se toma en el dial del equipo.

En la Figura 3 se muestra el equipo automático, en la Figura 4 se muestra el equipo manual.



Figura 1 - Equipo Automático de penetración.

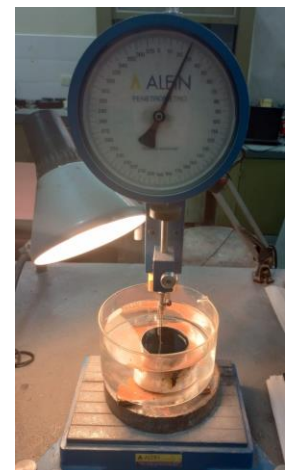


Figura 2 - Equipo Manual de penetración.

### 3.3 Resultados y análisis del resultado

#### 3.3.1 Asfalto CA-10

Los resultados obtenidos para la determinación de penetración del asfalto CA-10 se muestra en la Tabla N°14.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Penetración (0,1mm)	índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automático de Penetración (0,1mm)	índice de Efectividad automático (%)	índice De Efectividad Entre Manual Y automático (%)
CA-10	62,00	100,3	62,53	100,6	
	61,6	99,7	61,73	99,4	
Promedio	61,80		62,13		100

**Tabla 14: CA-10. Penetración. Norma IRAM 6576**

Se observa que es representativo ya que el índice de efectividad es del 100 % entre ambos ensayos y está dentro de la tolerancia.

### 3.3.2 Asfalto CA-20

Para el asfalto CA-20 se encuentran los valores en la Tabla N°15.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Penetración (0,1mm)	índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automático de Penetración (0,1mm)	índice de Efectividad automático (%)	índice De Efectividad Entre Manual Y automático (%)
CA-20	66,00	101,00	65,83	100,50	
	64,67	99,00	65,17	99,50	
Promedio	65,33		65,50		100

**Tabla 15: CA-10. Penetración. Norma IRAM 6576**

Se observa que es representativo ya que el índice de efectividad es del 100% entre ambos ensayos y está dentro de la tolerancia.

### 3.3.3 Asfalto CA-30

Para el asfalto CA-30 se encuentran los valores en la Tabla N°16.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Penetración (0,1mm)	índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automático de Penetración (0,1mm)	índice de Efectividad automático (%)	índice De Efectividad Entre Manual Y automático (%)
CA-30	31,67	102,20	32,23	101,6	
	30,33	97,80	31,20	98,40	
Promedio	31,00		31,70		102,31

**Tabla 16: CA-30. Penetración. Norma IRAM 6576**

Se observa que es representativo ya que el índice de efectividad es del 102,31% entre ambos ensayos y está dentro de la tolerancia.

### 3.3.4 Asfalto CA-30 + 15%NFU

Para el asfalto CA-30 con un 15% de caucho se encuentran los valores en la Tabla N°17.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Penetración (0,1mm)	índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automático de Penetración (0,1mm)	índice de Efectividad automático (%)	índice De Efectividad Entre Manual Y automático (%)
CA-30 + NFU15%	27,33	103,50	27,80	101,30	
	25,50	96,50	27,10	98,70	
Promedio	26,42		27,45		103,91

**Tabla 17: CA-30 + 15% NFU. Penetración. Norma IRAM 6576**

Se observa que es representativo ya que el índice de efectividad es del 103,9% entre ambos ensayos y está dentro de la tolerancia que establece la norma.

### 3.3.5 Asfalto CA-30 + 18%NFU

Para el asfalto CA-30 con un 18% de caucho se encuentran los valores en la Tabla N°18.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Penetración (0,1mm)	índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automático de Penetración (0,1mm)	índice de Efectividad automático (%)	índice De Efectividad Entre Manual Y automático (%)
CA-30 + NFU18%	28,17	101,50	28,2	99,5	
	27,33	98,50	28,47	100,5	
Promedio	27,75		28,33		102,10

**Tabla 18: CA-30 + 18% NFU. Penetración. Norma IRAM 6576**

Se observa que es representativo ya que el índice de efectividad es del 102,10% entre ambos ensayos y está dentro de la tolerancia.

### 3.3.6 Asfalto CA-30 + 20%NFU

Para el asfalto CA-30 con un 20% de caucho se encuentran los valores en la Tabla N°19.

Tipo de Asfalto	Ensayo Manual de Penetración (0,1mm)	índice de Efectividad Manual (%)	Ensayo Automático de Penetración (0,1mm)	índice de Efectividad automático (%)	índice De Efectividad Entre Manual Y automático (%)
CA-30 + NFU20%	30,00	98,4	31,40	99,0	
	31,00	101,6	32,03	101,0	
Promedio	30,50		31,72		103,99

**Tabla 19: CA-30 + 20% NFU. Penetración. Norma IRAM 6576**

Se observa que es representativo ya que el índice de efectividad es del 104% entre ambos ensayos y está dentro de la tolerancia.

## 4. Conclusiones

El equipo automático de punto de ablandamiento funciona bien cuando se ensaya utilizando como

medio el agua, para punto de ablandamiento menores a 80°C.

El equipo automático de punto de ablandamiento no funciona bien cuando el medio utilizado para el ensayo es glicerina, para punto de ablandamiento superiores a 80°C.

Se debe verificar en el equipo automático de punto de ablandamiento, el funcionamiento cuando se utiliza la glicerina como medio de ensayo.

El equipo automático de penetración resulta ser más sencillo realizar el ensayo de penetración por las facilidades que este brinda.

Los resultados obtenidos con ambos equipos automáticos muestran la eficiencia de los mismos, recomendándose la utilización del equipo automático para evitar errores humanos.

Se realizarán instructivos de ambos equipos automáticos, para facilitar la utilización de cualquier operario.

#### **Referencias bibliográficas**

- Gelsi Agustina y Obregón Hug Tatiana Marianela (2020)- *Caracterización de los asfaltos para uso vial en argentina*- Tesis de becarios de investigación del LEMaC, N°15, junio de 2021 ISSN 2250-7221, páginas 65 a 72.
- Gelsi Agustina y Obregón Hug Tatiana Marianela (2020) -*Susceptibilidad térmica de asfaltos para uso vial*- Tesis de becarios de investigación del LEMaC, N°15, junio de 2021 ISSN 2250-7221, páginas 73 a 77.
- Norma IRAM N°6841
- Norma IRAM N°6576



# DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

**Becario/s:** Moroni Juan Cruz (jmoroni@alu.frlp.utn.edu.ar)

**Director/res:** Barreda Marcelo Fabián (mbarreda@frlp.utn.edu.ar)  
LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP-CIC PBA, Argentina.  
lemac@frlp.utn.edu.ar

**Área:** Tecnología de los Pavimentos Rígidos y Estructuras

**PID Asociado:** “Desarrollo de hormigones autocompactantes destinados a mobiliario urbano para el mejoramiento de espacios públicos”. Código: MAUTNLP0007828



## Resumen

El Hormigón Autocompactante (HAC) pertenece al grupo de los denominados hormigones de alto desempeño. El atributo destacado de los HAC se corresponde con su condición en estado fresco. La dosificación es un aspecto fundamental para lograr su “autocompactabilidad”, que se obtiene en función de tres requerimientos: capacidad de llenado, resistencia a la segregación y capacidad de paso. Estas propiedades se evalúan por medio de ensayos tales como “Extendido y T<sub>50</sub>”, “Anillo J”, etc. En este trabajo se presentan los resultados de dosificaciones realizadas empleando únicamente cemento portland como polvo. Se proyecta como objetivo a futuro continuar realizando mezclas de HAC en las cuales una parte de cemento sea reemplazado por “filler” calcáreo.

**Palabras clave:** Hormigón Autocompactante, Dosificación, Hormigón Fresco

## 1. Introducción

A partir de la década del 80 se efectuaron los primeros desarrollos del Hormigón Autocompactante (HAC). El objetivo era lograr estructuras durables evitando los problemas generados por la compactación defectuosa del hormigón. Se buscaba, además, conseguir un equilibrio entre la economía, la trabajabilidad, las propiedades de endurecimiento y la facilidad de reproducir el mismo rendimiento de un lote a otro. La meta fue alcanzada con éxito en el año 1988. Durante la década de los 90 esta tipología de hormigón se expandió a los países nórdicos y Estados Unidos. Las diferencias esenciales de este hormigón con respecto al convencional radican en su gran fluidez, manteniendo una adecuada cohesión para evitar segregación y exudación, el no precisar vibrado compactándose por la acción de su propio peso, la gran facilidad de relleno de moldes, aunque sean estrechos y de formas complejas, así como la facilidad de su paso entre las barras de acero, aunque la cuantía de armadura sea elevada.

## 2. Materiales y Métodos

El propósito de este trabajo consiste en generar dosificaciones con materiales locales, ajustándose a diferentes parámetros establecidos por publicaciones nacionales e internacionales. Posteriormente, se evalúa su comportamiento mediante ensayos, realizados con equipamiento disponible en estado fresco y endurecido. En

primer término, se realizaron los ensayos de los agregados fino y grueso necesarios para verificar su granulometría y determinar su densidad y absorción. Posteriormente se efectuaron las mezclas con las dosificaciones adoptadas y se observó su comportamiento en estado fresco mediante el ensayo de extendido y T<sub>50</sub>. Además, se moldearon probetas cilíndricas que fueron ensayadas a la compresión para conocer el orden de magnitud de resistencia de las mezclas ejecutadas.

Las dosificaciones se realizaron considerando como referencia determinados parámetros establecidos en las Directrices Europeas para el HAC, la AATH y el ACI 237.

Los materiales empleados en las mezclas fueron cemento portland compuesto, piedra partida granítica (tamaño máximo 9,5 mm), arena silícea y un aditivo superplastificante.

### 2.1 Materiales

Previamente a la dosificación, se realizó un análisis de los materiales a emplear en el hormigón mediante ensayos de granulometría, densidad y absorción. A continuación, se describen las características de los materiales empleados:

- Cemento Portland Compuesto CPC40: densidad relativa = 3,06
- Piedra partida granítica (tamaño máximo 9,5 mm).



✓ Granulometría:

Análisis Granulométrico de agregados (IRAM 1505)				
Número muestra		1		
Peso muestra seca (g)		1010		
Tamiz	Peso retenido parcial (g)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Pasa acumulado (%)
2"	0	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	0	0,0	0,0	100,0
1"	0	0,0	0,0	100,0
3/4"	0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12	1,2	1,2	98,8
3/8"	11	1,1	2,3	97,7
#4	889	88,0	90,3	9,7
#8	70	6,9	97,2	2,8
#16	23	2,3	100,0	0,0
#30	0	0,0	100,0	0,0
#50	0	0,0	100,0	0,0
#100	0	0,0	100,0	0,0
Fondo		MF =	5,90	
		TMN =	3/8"	

Tabla N°1: Granulometría Piedra Partida Granítica.

✓ densidad relativa = 2,71

✓ Absorción = 0,8 %

- Arena Silíceas: densidad relativa= 2,63 y absorción = 0,4 %

✓ Granulometría:

Análisis Granulométrico de agregados (IRAM 1505)			
Número muestra		2	
Peso muestra seca (g)		550	
Tamiz	Retenido acumulado (g)	Retenido acumulado (%)	Pasa acumulado (%)
2"	0	0,0	100,0
1 1/2"	0	0,0	100,0
1"	0	0,0	100,0
3/4"	0	0,0	100,0
1/2"	0	0,0	100,0
3/8"	0	0,0	100,0
#4	0	0,0	100,0
#8	0	0,0	100,0
#16	0	0,0	100,0
#30	25	4,5	95,5
#50	234	42,5	57,5
#100	516	93,8	6,2
Fondo		MF =	1,41

Tabla N°2: Granulometría Arena silíceas.

✓ Densidad relativa = 2,63

✓ Absorción = 0,4 %

- Aditivo reductor de agua de alto rango (Superplastificante): Empleado para obtener un hormigón en estado fresco de tipo trabajable y resistente. Posee una densidad relativa de 1,095 (según la marca comercial). La dosis recomendada por el fabricante varía entre el 0,4 y el 1% del peso del cemento.

## 2.2 Dosificación

La dosificación se ajustó a una serie de parámetros establecidas por las normas. Dichos parámetros, se establecen en las siguientes tablas.

Directrices Europeas		
Componentes	Rango [kg/m <sup>3</sup> ]	Rango [lts/m <sup>3</sup> ]
Finos	380-600	
Pasta		300-380
Agua	150-210	150-210
Áridos gruesos	750-1000	270-360
Áridos finos	Volumen correspondiente al 45-55% del peso total	
Relación agua/finos por volumen		0,85-1,10
Relación agua/cemento		Agua < 200

Tabla N°3: Límites de dosificación, Directrices Europeas.

AATH	
Componentes	Rango [kg/m <sup>3</sup> ]
Agregado grueso	30-34%
Relación agua/polvo en volumen	0.8-1.2
Contenido de agua	155 a 175 lts/m <sup>3</sup>
Volumen de pasta	34-40% del volumen del hormigón
Volumen agregado fino	40-50% del volumen del mortero

Tabla N°4: Límites de dosificación, AATH.

ACI 237			
Componentes	Flujo de asentamiento (<550 mm)	Flujo de asentamiento (550 a 600 mm)	Flujo de asentamiento (>650 mm)
Contenido de polvo [kg/m <sup>3</sup> ]	355 - 385	385 - 445	>458
Volumen absoluto de agregado grueso	28% - 32%		
Fración de pasta	34% - 40%		
Fración de mortero	68% - 72%		
Relación agua/cemento	0.32 - 0.45		

Tabla N°5: Límites de dosificación, ACI 237.

De esta manera, el trabajo consistió en efectuar dos posibles dosificaciones para evaluar su comportamiento.

### 2.1.1. Dosificación 1

Dosificación 1	
Materiales	P [kg/m <sup>3</sup> ]
Agua	160
Cemento	460
Piedra partida granítica (TMN 9,5 mm)	850
Arena silícea	902
Aditivo SF	3,2

Tabla N°6: Dosificación 1.

Parámetros	
Relación Agua/Cemento	0.35
Relación Agua/Finos	1.06
Contenido de aditivo	0,7% del peso del cemento

Tabla N°7: Parámetros de Dosificación 1.

### 2.1.2. Dosificación 2

Dosificación 2	
Materiales	P [kg/m <sup>3</sup> ]
Agua	193
Cemento	460
Piedra (TMN 9,5 mm)	850
Arena silícea	813
Aditivo SF	4,10

Tabla N°8: Dosificación 2.

Parámetros	
Relación Agua/Cemento	0,42
Relación Agua/Finos	1,28
Contenido de aditivo	0,9% del peso del cemento

Tabla N°9: Parámetros de Dosificación 2.

### 2.3 Mezclado

El mezclado se realizó a máquina. Los materiales fueron pesados e incorporados al tambor del mezclador. El proceso se desarrolló en ciclos de 3-3-2, es decir 3 minutos de mezclado, 3 minutos de reposo y 2 minutos de mezclado final (norma IRAM 1534).

### 2.4 Ensayo de Extendido y Tiempo T<sub>50</sub>

El ensayo consiste en medir la extensión del hormigón en estado fresco sobre una planchuela, determinando el tiempo en el cual la mezcla alcanza los 50 cm de diámetro. Para realizar el ensayo se necesita que la planchuela tenga marcada una circunferencia de 50 cm de diámetro en su centro. Se coloca la mezcla en un molde troncocónico invertido lleno en su totalidad. El cono se eleva verticalmente dejando fluir el hormigón.

Se midió el tiempo que tardó la mezcla en alcanzar los 50 cm de diámetro mediante un cronómetro y el diámetro final alcanzado utilizando una regla. De esta manera, se obtuvieron los valores del T<sub>50</sub> y el extendido (norma IRAM 1890-1).

### 2.5 Evaluación de la resistencia a compresión

Aplicando la norma IRAM 1546, se efectuó el ensayo de resistencia a compresión.

### 2.6 Anillo J

No se realizó la evaluación de la capacidad de paso mediante el ensayo con Anillo J (norma 1890-2) por carecer del dispositivo de ensayo. No obstante, al realizar mezclas con un tamaño máximo de agregado grueso de 9,5 mm (mínimo disponible) es esperable que no se produzcan bloqueos.

## 3. Resultados

A continuación, se exponen los resultados de cada dosificación.

### 3.1. Resultados Dosificación 1

Se obtuvieron los siguientes valores.

- ✓ T<sub>50</sub> = 15 seg.
- ✓ Extendido = 50 cm.
- ✓ Resistencia a compresión = 43,4 MPa (7 días) y 56,2 MPa (28 días).

### 3.2. Resultados Dosificación 2

Se obtuvieron los siguientes valores.

- ✓  $T_{50} = 3$  seg.
- ✓ Extendido = 65 cm.
- ✓ Resistencia a compresión = 48,32 MPa (28 días).

### 4. Discusión

La norma IRAM 1666 establece valores de extendido ( $55 \text{ cm} \leq E \leq 75 \text{ cm}$ ,  $\pm 5 \text{ cm}$ ) y  $T_{50}$  (2-8 seg, +2 seg) para el HAC que fueron tomados como referencia para realizar la evaluación de las mezclas. En función de los resultados de la dosificación 1, se observa que, si bien se aproximaron a los valores exigidos por la norma, se decidió probar con otra dosificación para aumentar el grado de fluidez de la mezcla.

Como resultado de la dosificación 2, se observa que, si bien el extendido aumentó de 50 a 65 cm y el  $T_{50}$  disminuyó de 15 a 3 segundos, se detectó una tendencia a la segregación de los materiales e incluso una exudación excesiva cuando se confeccionaron las probetas para el ensayo de compresión (figura N°1 y N°2). La razón se vincula posiblemente a un exceso en la cantidad de aditivo y agua empleados en la mezcla. Por lo tanto, tales cantidades deberán ajustarse para obtener las propiedades deseadas.

Con respecto a los valores de resistencia a la compresión obtenidos, se deben al empleo de relaciones a/c bajas (0,35 y 0,42).



**Figura N°1: Segregación producto de la dosificación 2, visualizada al realizar el ensayo Extendido.**



**Figura N°2: Segregación producto de la dosificación 2, visualizada al confeccionar las probetas.**

### 5. Conclusiones

La dosificación de mezclas de HAC no difiere demasiado de la dosificación de mezclas de hormigón convencional.

El método del volumen absoluto todavía se emplea para asegurar el rendimiento correcto de un metro cúbico de hormigón.

Aunque el proceso general de dosificación es similar, existen, sin embargo, algunos conceptos relacionados con las propiedades de fluidez y estabilidad del hormigón que son nuevos e importantes de considerar.

Al igual que con todos los procedimientos de dosificación de mezclas, ya sea para hormigón convencional o para HAC, se requieren ensayos y evaluaciones de las proporciones elegidas. Luego, según sea necesario, se deben hacer ajustes a las proporciones para lograr el comportamiento deseado.

Si bien en este trabajo se presentan los resultados de dosificaciones realizadas empleando únicamente cemento portland como polvo, se proyecta como objetivo a futuro efectuar la dosificación de mezclas de HAC en las cuales una parte del cemento sea reemplazado por "filler" calcáreo y emplear agregado grueso de tamaño máximo superior para evaluar su comportamiento.

### Referencias bibliográficas

[1] EPG 2005. "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification Production and Use".

[2] ACI 237R-07. "Self-Consolidating Concrete". Reported by ACI Committee 237.

[3] Ing. Carlos A. P. Fava. (2003). TESIS MAGÍSTER "Tecnología y construcciones de hormigón".

[4] Irassar, E. et al. (2004). *Hormigones Especiales*. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. pp. 57-96. ISBN: 987-21660-0-5. Argentina.

[5] Daczko, J. (2012). *Self-Consolidating Concrete*. Spon Press. ISBN: 978-0-415-59064-8. USA.





## “AUDITORIAS SOBRE LAS CICLOVÍAS Y BICISENDAS DE LA CIUDAD DE LA PLATA”

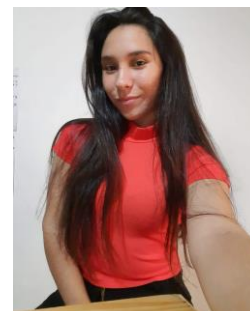
**Becario:** Abraham, Maria Beatriz, (beatrizabraham24@gmail.com)

**Director:** Das Neves, Gustavo, (gdneves@frlp.utn.edu.ar)

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

**Área:** Gestión y Diseño Vial

**PID Asociado:** “Implementación de ensayos viales en materiales de demarcación horizontal”. Código TVFALP0008559



### Resumen

La presente tesis incursiona en la metodología de aplicación de una auditoría, analizando las bicisendas y ciclovías del llamado casco urbano de la Ciudad de La Plata, con el fin de verificar que estas infraestructuras cumplen con las características necesarias para la seguridad de los usuarios y su entorno.

**Palabras clave:** bicisendas, ciclovías, auditorias, normas, bicicletas, planificación y ordenamiento vial.

### 1. Introducción

En la planificación y el ordenamiento vial urbano es indispensable integrar a la bicicleta como modo de transporte, con la finalidad de brindar una alternativa económica, segura y saludable que permita reducir el tránsito automotor, la congestión y la contaminación producida por los móviles motorizados. En consecuencia, se debe brindar una infraestructura adecuada y segura para el buen funcionamiento del transporte en cuestión, disponiendo de una red de circulación exclusiva para ciclistas vinculando los distintos puntos de interés del territorio con las zonas residenciales, brindando una oferta adecuada a la demanda.

Planificar una red implica la sumatoria de una serie de datos básicos, como lo son las características de las arterias y la población, los viajes actuales y los modos de transportes existentes, entre otros datos importantes. Estas redes deben cumplir con ciertas características respecto a los estándares de diseño, la infraestructura vial y la seguridad de los usuarios y el entorno.

### 2. Materiales y Métodos

Nos abocaremos a realizar una auditoría de las ciclovías y bicisendas del casco urbano de la Ciudad de La Plata, para lo cual cabe aclarar primero algunos conceptos y relaciones básicas:

#### Bicisendas

Es una infraestructura exclusiva y especial para ciclistas, que, a diferencia de una ciclovías, se implanta sobre veredas, parques, plazas y en

relación con vías peatonales separadas de la calzada, formando una cinta de hormigón alisado, con un ancho variable recomendable de 2,30m a 2,50 m., teniendo en cuenta para su emplazamiento dimensiones de la vereda y elementos existentes.

#### Ciclovías

Es una infraestructura exclusiva y especializada para ciclistas. Forman parte de una red de vías protegidas. Su traza se encuentra ubicada sobre la calzada, delimitada por separadores físicos. Ubicadas en el margen izquierdo de la calzada según el sentido de circulación vehicular, con un ancho de 2,35 m para ciclovías de doble sentido de circulación y de 1,55 m en casos de sentido único.

Principales elementos que componen dichas infraestructuras:

- Señales preformadas de ceda el paso, flechas indicadoras de sentido de circulación, y con la imagen de bicicletas.
- Líneas de detención.
- Eje divisorio de sentidos de circulación.
- Cruce verde.
- Cordón como separador físico entre las ciclovías y la calzada vehicular.
- Delineadores reflectivos.
- Semáforos para ciclistas.

#### Auditorias

Se realizan auditorias a los proyectos desde el punto de vista del aseguramiento de la calidad, de

los impactos ambientales y desde el aspecto económico.

La metodología de auditorías de seguridad vial se definen como la utilización de métodos y protocolos sistemáticos y rigurosos con fines eminentemente preventivos, que permiten verificar el cumplimiento de todos los aspectos involucrados en la seguridad de las calles y su entorno.

Se desarrolla mediante un examen formal y sistemático a un proyecto de infraestructura vial existente o futuro, sobre el cual un grupo técnico, idóneo e independiente, prepara un reporte sobre el potencial de accidentalidad o el desempeño integral relacionado con las condiciones de seguridad de todos los usuarios, para analizarlas y tomar las medidas correctivas pertinentes.

Los elementos que caracterizan las auditorías permiten evaluar los riesgos potenciales de accidentes, buscan minimizar las consecuencias de dichos eventos para disminuir su frecuencia de ocurrencia, su gravedad y reducir los costos personales y sociales en que incurre una comunidad por las pérdidas de vidas humanas, costos de atención hospitalaria e incapacidades médicas. Propugnan un ambiente más seguro para todos los usuarios y buscan acciones de mejoramiento y mitigación de los aspectos negativos, para contribuir en la protección de los usuarios más vulnerables del sistema vial.

Las auditorías emplean instrumentos técnicos de apoyo para su juicio imparcial independiente del proyectista. Una herramienta básica es la elaboración de las llamadas listas de chequeo, que pretenden abarcar todas las variables involucradas en el fenómeno de la accidentalidad. De manera detallada se verifican las condiciones de los elementos y el equipo auditor recaba información del proyecto en general, realiza visitas de campo, recorridos y entrevistas a la población.

El equipo auditor produce su informe, que tiene el carácter de auditoría en el mismo sentido de las de calidad de las empresas, en condiciones de aceptación o rechazo, o en términos técnicos de conformidad o inconformidad, lo cual implica el compromiso de tomar acciones correctivas por parte de la entidad solicitante del proceso.

Se pueden aplicar en todas las fases del proyecto:

#### En fase de diseño

- Prefactibilidad y factibilidad
- Prediseño
- Diseño detallado

#### En fase de construcción

- Construcción
- Preoperación

#### En fase de operación

En este caso nos enfocaremos en una auditoría en fase de operación, lo cual implica un examen sistemático de tramos de red vial, desde el punto de vista de la seguridad.

Es necesario conocer las pautas y elementos necesarios para el diseño de bicisendas y ciclovías

#### Bicisendas

Para el diseño de estas se debe cumplir con una serie de pautas y elementos que los conforman.

- Losa de hormigón (no se recomienda la bicisenda de pavimento asfáltico).
- Rampas.
- Doble mano de circulación.
- Evitar las interferencias con las paradas de colectivos, taxis y espacios de carga y descarga.
- Protección para el ciclista en relación con la circulación vehicular.
- Demarcación horizontal y señalización vertical.
- Tratamiento de cruces. Demarcación en verde.
- Zonas de convivencia con peatones.
- Intervisibilidad entre ciclistas y peatones
- Límite de velocidad.

#### Ciclovías

Se deben cumplir una serie de pautas y elementos que los conforman

- Colocación de una separación física del tránsito vehicular.
- Doble mano de circulación.
- Localización de los carriles en el margen izquierdo.
- Demarcación horizontal y señalización vertical.
- Velocidad máxima de 30 km/h en arterias intervenidas.
- Demarcación especial para lugares de ascenso y descenso en hospitales, escuelas, geriátricos, etc.
- Tratamiento de cruces. Demarcación en verde (cruce de ciclistas).
- Zonas de convivencia con peatones.

#### Descripción de los elementos necesarios

Tipos de separadores físicos; según el ancho de calzada se adoptan los siguientes tipos de separadores físicos:

- Cordón alto: cuando la calzada es de 8 m de ancho o más.
- Cordón bajo-doble montante cuando la calzada es menor de 8 m.

- Demarcación cuando la calzada no acepta la colocación de los anteriores por geometría o por tipología constructiva.

#### Demarcación horizontal

Se utiliza cuando la calzada no acepta la colocación de separadores físicos (cordones) por geometría o por tipología constructiva. Normalmente se utiliza pintura termoplástica aplicada en caliente. Una vez colocada la pintura, se siembran microesferas reflectivas para su visualización nocturna y al enfriarse, el material se solidifica.

Las demarcaciones más comunes son las siguientes:

Eje divisorio: tiene la función de dividir el sentido de circulación, demarcado con pintura amarilla termoplástica reflectiva. Es una línea continua y discontinua de 10cm de espesor pintada en el medio de la ciclo vía o bisisendas dividiéndola en dos sectores de iguales dimensiones. La línea de trazo continuo ubicada tanto al inicio como al final de cada cuadra con una longitud de 15 m, indica la prohibición de sobrepaso. el trazo discontinuo indica la permisión de sobrepaso. la secuencia es; 1 metro lleno, 1 metro vacío.

Línea de detención blanca: es una línea que se utiliza antes de una intersección o cruce, con el objetivo de que el ciclista se detenga antes de la misma. La línea coincide con el inicio de la ciclo vía y es perpendicular al eje divisorio, ubicándose en ambos sentidos de circulación.

Se efectúa en pintura blanca en caliente y sus dimensiones son 0,50 x 0,70m, se utiliza tanto en ciclo vías como en bisisenda, antes de cruces vehiculares y/o peatonales

Línea de borde: es una línea blanca, con un espesor de 0,10m. En las bisisendas se coloca en los bordes exteriores para marcar el límite con su entorno. También se utilizar para delimitar la ciclo vía de la calzada vehicular cuando el ancho de esta es muy escaso para poner cordones, ya que permite el eventual sobrepaso del vehículo sobre la misma.

Senda peatonal en bisisenda: se colocan cuando existe un cruce peatonal sobre la bisisenda. Las sendas son de 2 metros de largo.

Cruce verde: es una franja de pintura verde de 1,60 m de ancho en ciclo vías de doble sentido de circulación y bisisendas, y 0,80 m en ciclo vías de único sentido de circulación. Se utiliza en bocacalles para indicar a los vehículos motorizados de la presencia de un cruce de ciclistas, y para que estos se mantenga en su sector del cruce. Se aplica en caliente y se realiza un borde con una línea pintada e interrumpida blanca reflectiva de 0,30 x 0,50 m

cada 0,50 m y separada 0,20 m del cruce verde en ambos lados. Se realiza un sembrado con microesferas reflectivas para la visualización del cruce en horas nocturnas.

Mire: en función de advertir al peatón la presencia del cruce con una ciclo vía bidireccional, se incorporó entre las franjas de la senda peatonal la palabra "MIRE" para indicar al peatón que debe observar hacia ambos lados antes de cruzar

Señales preformadas: estas son imágenes que se aplican en caliente y que también son reflectivas. Se ubican a inicios y a fines de las ciclo vías indicando sentido de circulación, carril exclusivo y ceda el paso. La ventaja de este tipo de señales es su alta durabilidad. En bisisendas, se coloca un conjunto de imágenes preformadas cada 50m aproximadamente, indicando sentido de circulación y carril exclusivo para ciclistas. Al llegar a las intersecciones, se aplica el conjunto de señales, como en las ciclo vías (bicicleta, flecha y ceda el paso).

Cruce de ciclo vía: para indicar el cruce de ciclo vías se utilizar una señal preformada en forma de rombo amarillo con una imagen de bicicleta de 1,2m x 2m y en su parte inferior, una o dos flechas en negro que indican el sentido de circulación del ciclista.

#### Delimitadores verticales

##### Delineadores rebatibles y tachas

Con el objetivo de hacer más visibles los separadores físicos (cordones) y dividir los carriles de la ciclo vía, se colocan los delineadores retractiles rebatibles. Los mismos son flexibles, con base plástica y cintas reflectivas. Se encuentran fijados al pavimento y se ubican en las aperturas de cordones (pases de agua) y esquinas. Al ser reflectivos aumentan la visibilidad nocturna, generando un factor de seguridad para los vehículos que circulan en el eje de la ciclo vía.

Se colocan dos delineadores en el inicio de la ciclo vía, uno de ellos antes del eje divisorio y otro antes del tramo de cordones, y uno en el eje del cruce verde, para obligar al vehículo a doblar en la intersección con más amplio radio de giro. También se coloca uno por cada apertura de cordones.

##### Señalización vertical

La señalización vertical se ubica a modo referencial, debiéndose a emplazar en la obra según corresponda, siguiendo determinadas indicaciones:

Señales verticales colocadas sobre la mano derecha de la vía:

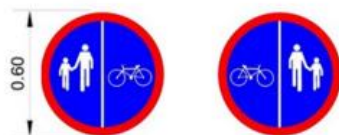
- Límite de velocidad: en las arterias donde se implanta una ciclo vía, es conveniente disminuir la velocidad máxima a 30 km/h.
- Ceda el paso a ciclistas y peatones: En las intersecciones en donde el vehículo gira sobre el cruce ciclista se debe colocar una señal vertical de CEDA EL PASO que indica que debe cederle el paso al girar a peatones y ciclistas.
- Pare: Antes de un cruce verde, se coloca una señal de PARE para indicar al vehículo que debe detenerse.
- Advertencia cruce de ciclistas: Se ubica en la calle transversal a la que posee ciclo vía entre 20 o 30 m antes de la intersección. Indica al vehículo que hay un cruce de ciclistas y especifica sentidos de circulación.

Señales verticales colocadas sobre la mano donde está ubicada la ciclo vía o bicisenda

Carril exclusivo o bicicletas: La señal se ubica en el lado de la calzada en que este ubicada la ciclo vía, en el inicio de la cuadra. Indica que se trata de un carril de circulación exclusiva para ciclistas.

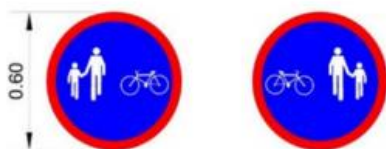
Convivencia con demarcación

La señal se ubica en el lado en que este ubicada la bicisenda, en el inicio de cuadra y a mitad de esta. Indica que se trata de una senda de circulación para bicicletas y peatones.



Convivencia sin demarcación

La señal indica "zonas de convivencia" entre peatones y ciclistas.



Uso de bicisenda y ciclo vía

Estas infraestructuras son de uso exclusivo para ciclistas y personas en monopatín. No pueden circular motos ni peatones por esos tramos, tampoco estacionar autos en el caso de las ciclo vías.

En caso de haber dos senderos, uno es exclusivo para peatones y el otro para bicicletas, están delimitados con su debida señalización.

Dentro de las plazas también se ordena el tránsito de las bicicletas y monopatines.

En los cruces en los que no existe semáforo, el peatón y las bicicletas tienen prioridad en el momento de cruzar.

Ubicación de las infraestructuras en el casco

En el casco urbano platense nos encontramos con las siguientes ciclo vías y bicisendas:

Bicisendas

- Diag. 73 desde Boulevard 73 hasta Plaza Matheu
- Diag. 73 desde Plaza Matheu hasta Plaza Rocha
- Diag. 73 desde Plaza Rocha hasta Plaza Moreno
- Diag. 73 desde Plaza Moreno hasta Plaza Azcuénaga
- Diag. 73 desde Plaza Azcuénaga hasta calle 41
- Av. 60 entre 1 y Plaza Rocha (tramo de 1 a 2, y de 2 a 7)
- Diag. 79 entre 117 a 1
- Circuito del Bosque, entre Av. Iraola, Av. Centenario y calle 120

Ciclo vías

- Calle 12 de calle 54 a calle 62
- Calle 12 de calle 64 a calle 65
- Av. 53 entre calle 2 y calle 6
- Av. 53 entre Av 7 y calle 12
- Av. 53 entre calle 14 y calle 19
- Diag. 73 entre calle 41 a Boulevard 82

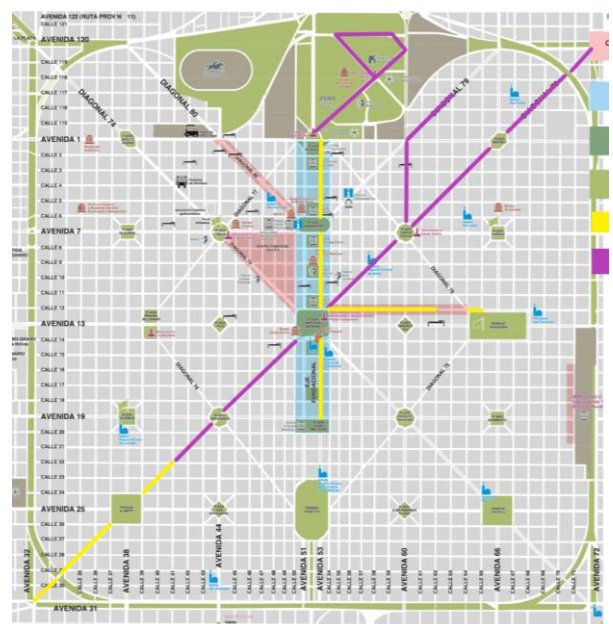


Imagen N°1: Ciclo vías y Bicisendas en el Casco Urbano.



Para comenzar con el objetivo de esta tesis, primero se realiza una clasificación de las distintas bicisendas y ciclovías, con el fin de poder clasificar las que se encuentran en la ciudad.

#### Ciclovías

Con separador físico	Sin separador físico
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con cordón alto</li> <li>• Con cordón bajo</li> <li>• Con demarcación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Doble mano</li> </ul>

#### Bicisendas

- Delimitación sin separación física
- Doble mano de circulación
- Una sola mano de circulación

Es necesaria la siguiente aclaración:

#### Tipos de separadores físicos:

Según el ancho de la calzada se adoptan los siguientes tipos de separadores físicos.

- Cordón alto: cuando la calzada es de 8m de ancho o más. Sus medidas son 35cm de ancho por 60cm de longitud y 17cm de altura máxima, con rebaje hasta los 2 cm de altura menor.
- Cordón bajo-doble montante: cuando la calzada es menor de 8m, utilizado en arterias con ausencia de líneas de transporte público y con escaso ancho de calzada. De 35cm de ancho por 60 cm de longitud y 0,08m de altura máxima, con rebaje hasta los 2cm en su altura menor. Esta altura permite que el vehículo automotor pueda cruzarlo a baja velocidad, en casos donde la arteria se encuentre obstruida.
- Demarcación cuando la calzada no acepta la colocación de los anteriores por geometría o por tipología constructiva.

#### Relevamiento

Se realizaron relevamientos en el mes de agosto y septiembre, recabando información sobre dimensiones (ancho, largo, separadores, señalización vertical, etc.), además de capturar imágenes de lo observado.

Los tramos relevados son los siguientes:

#### -Diagonal 73 entre Boulevard 82 y calle 41

Se trata de una ciclovía conformada por doble mano de circulación, con separación física entre el ciclista y el tránsito vehicular. Cuenta con demarcación horizontal, demarcación especial para lugares de ascenso y descenso en hospitales, escuelas, etc., y señalización vertical pero no tiene señales de velocidad máxima. En los cruces presenta demarcación en verde.

Observaciones: Esta ciclovía cumple con las características básicas para una infraestructura de este tipo. Sin embargo, es necesario detallar que no cuenta con zonas de convivencia con peatones. Además, sería recomendable una mejora en la separación con el tránsito vehicular, para prevenir incidentes derivados de la posibilidad de que el ciclista invada la calzada vehicular.

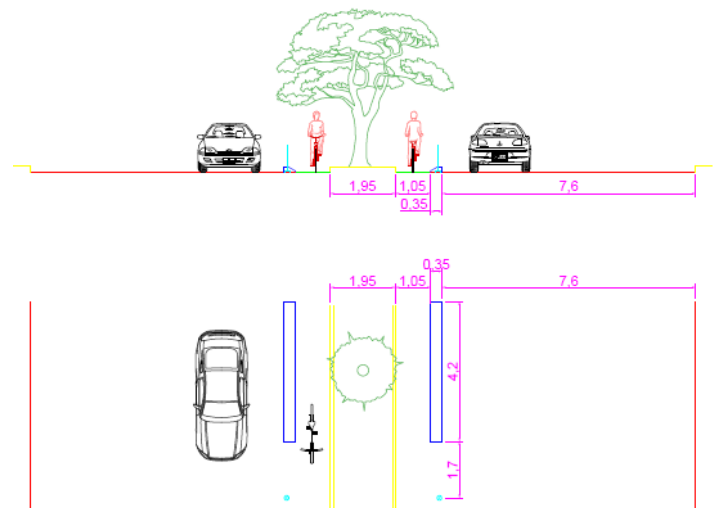


Imagen N°2: Ciclovía Diag. 73 e/ Boulevard 82 y calle 41



Imagen N°3: Ciclovía Diag. 73 e/ Boulevard 82 y calle 41





Imagen N°4: Ciclovía Diag. 73 e/ Boulevard 82 y calle 41



Imagen N°5: Ciclovía Diag. 73 e/ Boulevard 82 y calle 41

-Diagonal 73 entre 41 y 44

Se trata de una bicisenda dispuesta dentro de una rambla. Su separación se materializa mediante la demarcación horizontal, además de la diferencia de nivel que presenta la calzada con la rambla central. Esta infraestructura cuenta doble mano de circulación, rampas de acceso, señalización vertical, demarcación en verde para cruces.

Observaciones: No cuenta con señalización correspondiente de velocidad máxima. No presenta zonas de convivencia con peatones. Presenta condiciones inseguras para los ciclistas, dado que nos encontramos en la misma situación mencionada anteriormente.



Imagen N°6: Bicisenda Diag. 73 entre 41 y 44

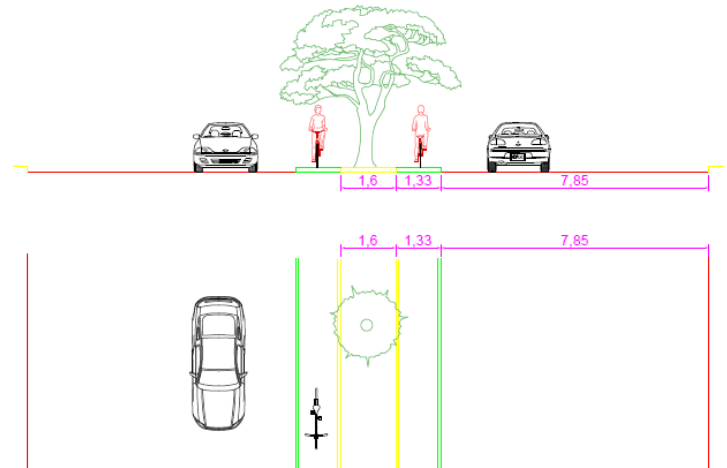


Imagen N°7: Bicisenda Diag. 73 entre 41 y 44



Imagen N°8: Diag. 73 entre 41 y 44

-Diagonal 73 entre calle 45 a 72

Estamos en presencia de una bicisenda con un carril de doble circulación, uno para las bicicletas y otro para las personas. Está conformada por una losa de hormigón, rampas de acceso, cuenta con demarcación horizontal y señalización vertical, demarcación en verde en los cruces. Presenta zonas de convivencia con peatones.

Observaciones: No cuenta con señalización vertical indicadora del límite de velocidad máxima. Se debe destacar que la infraestructura es segura para las bicicletas respecto a la separación con el tránsito vehicular. Respecto a las dimensiones e infraestructura, estas bicisendas cumplen con los requisitos, pero presenta condiciones inseguras, dado que el carril de las bicicletas se encuentra dividido en dos, para permitir la circulación hacia ambos sentidos, pero sus dimensiones no son suficientes para dicha ocupación, por lo cual, la mayoría de los ciclistas utiliza el carril destinado para la circulación de los peatones.

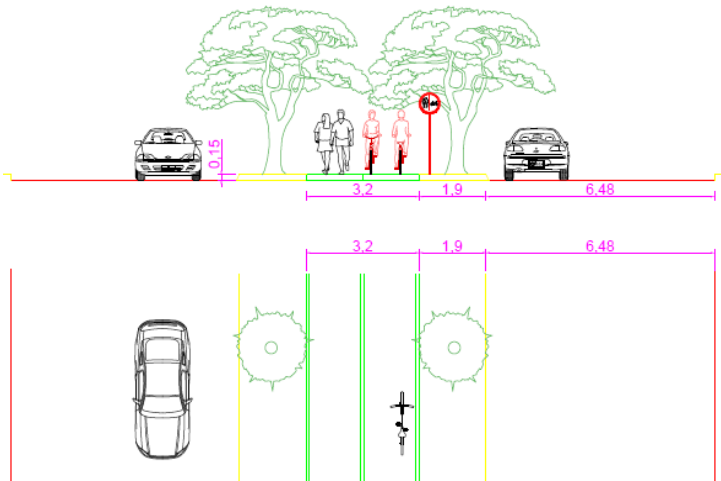


Imagen N°9: Bicisenda Diag. 73 entre 45 y 72



Imagen N°10: Bicisenda Diag. 73 entre 45 y 72



Imagen N°11: Bicisenda Diag. 73 entre 45 y 72

-Avenida 53 entre 1 y 19

Se trata de una ciclovía, conformada por una doble mano de circulación, con separación física entre el ciclista y el tránsito, representada por cordón bajo doble montante. Cuenta con demarcación horizontal y demarcación especial; y señalización vertical pero no tiene señales de velocidad máxima. En los cruces presenta demarcación en verde. Además, cuenta con zonas de convivencia con peatones.

Observaciones: Esta ciclovía presenta las características básicas para una infraestructura de su tipo. Sin embargo, sería necesario una mejora en la separación con el tránsito vehicular, dado que la ciclovía no es segura, ya que, si el usuario sufre algún accidente, existe el riesgo de que invada la calzada vehicular generándose una situación peligrosa.

Cabe destacar, que en esta zona, además de la ciclovía se encuentra una infraestructura para bisisenda sobre la rambla, la cual presenta las medidas necesarias para la circulación de usuarios, pero en las esquinas no presenta rampa de acceso, por lo cual su uso es casi nulo para ciclistas.

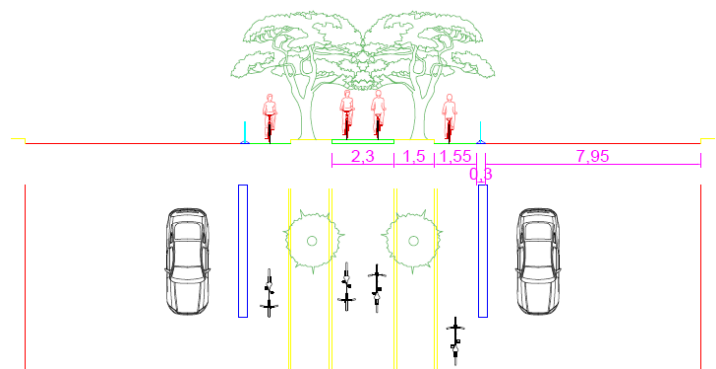


Imagen N°12: Ciclovía. Av 53 entre 1 y 19



Imagen N°13: Ciclovía Av 53 entre 1 y 19



Imagen N°14: Ciclovía Av 53 entre 1 y 19



**-Avenida 60 entre calle 1 y 2**

Estamos en presencia de una bicisenda con carril de mano única de circulación para las bicicletas, conformada por una losa de hormigón, rampas de acceso, cuenta con demarcación horizontal y señalización vertical, demarcación en verde en los cruces. Presenta zonas de convivencia con peatones sobre la rambla en la que se encuentra emplazada.

Observaciones: No cuenta con señalización vertical para indicar el límite de velocidad máxima. Se debe destacar que la infraestructura no es segura para los usuarios respecto a la separación con el tránsito vehicular. Sumado a esto, no es viable la circulación de dos ciclistas al mismo tiempo, dado que el ancho de la bicisenda no lo permite, por lo cual los ciclistas hacen uso de la calzada vehicular, generando así una situación peligrosa tanto para ellos como para los usuarios de automóviles.



Imagen N°17: Bicisenda Av. 60 entre 1 y 2

**-Avenida 60 entre 2 y 6**

En este tramo se encuentra una bicisenda de doble mano de circulación, conformada por una losa de hormigón, rampas de acceso, cuenta con demarcación horizontal y señalización vertical, demarcación en verde en los cruces. Presenta zonas de convivencia con peatones.

Observaciones: No cuenta con señalización vertical para indicar el límite de velocidad máxima. Se debe destacar que la infraestructura es segura para las bicicletas respecto a la separación con el tránsito vehicular, dado que se encuentra suficientemente distanciada de la calzada vehicular. Sin embargo, cabe destacar que esta infraestructura es usada también por los peatones.

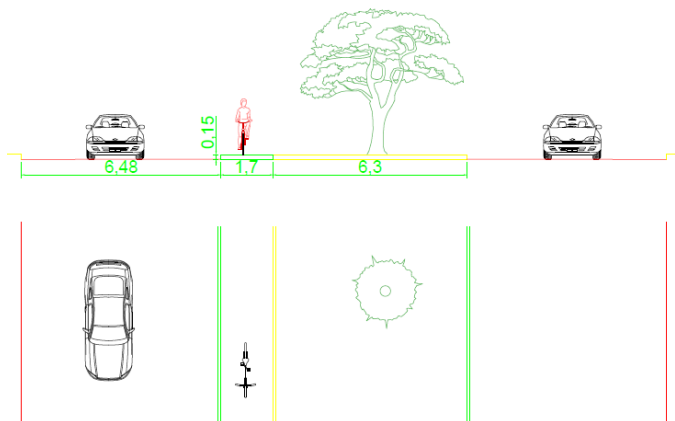


Imagen N°15: Bicisenda Av. 60 entre 1 y 2



Imagen N°16: Bicisenda Av. 60 entre 1 y 2

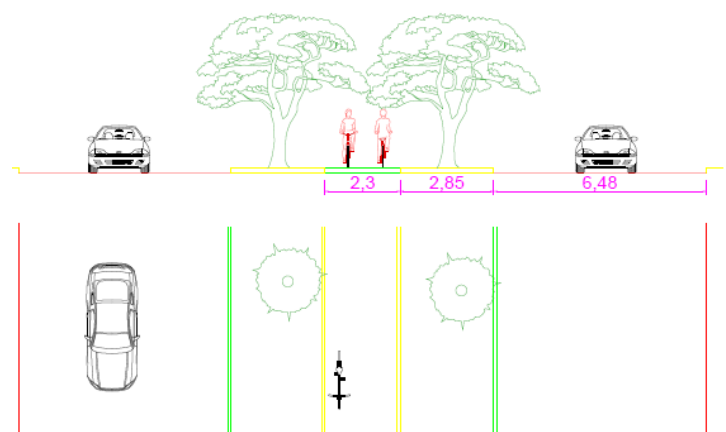


Imagen N°18: Bicisenda Av. 60 entre 2 y 6



Imagen N°19: Bicisenda Av. 60 entre 2 y 6

### -Diagonal 79 entre 117 y 1

Se trata de una bicisenda de carril de mano única, conformada por una losa de hormigón, rampas de acceso. Presenta zonas de convivencia con peatones.

Observaciones: Esta infraestructura se encuentra en muy mal estado. Dado que las rampas de acceso se encuentran rotas, mal ubicadas. No presenta demarcación horizontal ni señalización vertical. Al ser un carril de mano única es peligroso dado que los usuarios lo utilizan como si fuese de dos manos. Esta bicisenda no cumple con los requisitos básicos.

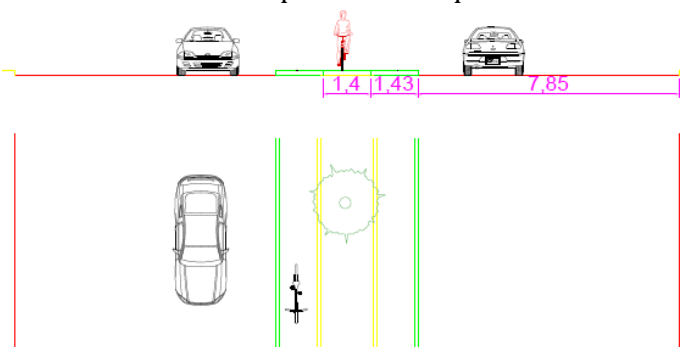


Imagen N°20: Bicisenda Diag. 79 entre 117 y 1



Imagen N°21: Bicisenda Diag. 79 entre 117 y 1

### 3. Resultados

Del relevamiento efectuado se han podido obtener una serie de resultados, considerando para ello

aspectos críticos, para dar solución a problemas de congestión vehicular, conectividad entre distintos puntos de la ciudad y utilidad efectiva de la bicicleta como modalidad de transporte urbano.

A modo de resultado de la investigación, se presenta lo siguiente:

#### -Sentido de circulación en bicisendas/ciclo vías

Muchas bicisendas/ciclo vías están realizadas con doble sentido de circulación incorporadas en las arterias de vehículos motorizados de un solo sentido. Dado esto, la fluidez en la bicisenda queda condicionada por el tráfico de bicicletas "ida y vuelta" sobre la misma, esto genera un inconveniente, dado que incrementa la probabilidad de incidentes en las intersecciones con otras arterias, al no contar con la visión a dos lados por parte de automovilistas, que no alcanzan a percibir el tráfico de bicicletas contrario al del sentido regular de toda la arteria que están traspasando. Si se considera que uno de los objetivos centrales de toda bicisenda/ciclo vía debe ser el incrementar la seguridad del ciclista, resulta conflictiva la solución de doble vía dentro de arteria de una mano para vehículos a motor.

#### -Infraestructura vial sin adaptaciones de diseño

Son pocas las bicisendas que cumplen con el diseño correcto de infraestructura.

Las bicisendas/ciclo vías están dispuestas en extremos laterales de calles, esos sectores deben tener una inclinación pensada en términos de infraestructura para servir como facilitadores de los flujos de agua y el desagote rápido del caudal de lluvia hacia los desagües.

Pero esta solución se cruza con la seguridad de los ciclistas, porque si en esa franja se encuentra una bicisenda/ciclo vías, el plano inclinado lateral afecta el equilibrio normal del andar en bicicleta y en situaciones de lluvia intensa la problemática se puede agravar respecto a la adherencia a la calzada de las ruedas de la bicicleta.

#### -Delimitación de la bicisenda

No resulta adecuada la forma en que están delimitadas estas infraestructuras. En muchas de ellas se utilizan bloques de hormigón, los cuales acaban siendo peligroso para los usuarios en caso de caídas y son rígidos en cuanto a la incapacidad de absorber energía ante el golpe contra ellos de un cuerpo humano.

#### -Diseño de traza de la bicisenda

Algunas bicisendas/ciclovías presentan un diseño de traza siguiendo la lógica del transporte vehicular. Por respetar las calzadas para vehículo, las sendas para los ciclistas conllevan a maniobras bruscas e inesperadas cuando se transita por ellas, ocasionando un riesgo para los ciclistas.

#### -Bicisendas angostas y/o mal demarcadas

En los tramos de ciclovías/bicisendas se visualizó que la mayoría de ellas son demasiado estrechas, este factor en conjunto con el hecho de estar mal demarcadas genera un riesgo a la hora de circular.

#### -Conducta de conductores de vehículos motorizados

Se observan conductas inapropiadas por parte de conductores de vehículos motorizados, los que no respetan claramente los límites de las bicisendas y las vías. Conductas de este tipo se profundizan entre los conductores de estos vehículos, muchos de quienes consideran la bicisenda como una senda también asignada a ellos.

#### -Señalización lumínica específica para bicisendas

Las señales lumínicas específicas para las bicisendas/ciclovías, resultan ser de las destinadas a vehículos motorizados. En los cruces, los ciclistas se encuentran confundidos respecto a que tipo de señal lumínica respetar para conocer si tienen o no habilitado el paso en el cruce de la arteria transversal. Esto ocasiona que se incremente el riesgo de incidente vial para quien transita la bicisenda.

#### -Normas viales confusas para bicisendas/ciclovías

Las normas no son claras respecto a cómo deben convivir los vehículos motorizados y los no motorizados, compartiendo sus vías de circulación específica en lo que no deja de ser un mismo espacio de calzada. Las normas viales no claras se trasladan también a la relación/vínculo entre ciclistas y peatones, cuando estos deben cruzar una calzada que en realidad es una doble vía, la bicisenda y la vía para vehículos.

#### -Conductas imprudentes por parte de los usuarios de bicisendas

Un factor que incrementa el riesgo de incidente vial para usuarios de bicisendas/ciclovías, es la conducta imprudente de los propios ciclistas. Se observó que buena parte de los usuarios no utilizan cascos, no señalizan con la mano cuando giran, circulan a contramano, no se detiene ante un semáforo, no dispone de luces en su bicicleta, no

respetan la prioridad de paso del peatón, circulan con auriculares, y/o utilizando sus teléfonos.

#### -Aspectos económicos relacionados con la utilización de bicisendas

Es un factor importante la conveniencia económica de los usuarios de bicisendas/ciclovías respecto a la alternativa sobre el motorizado.

#### Aspectos sociales

Se ha observado que se manifiesta una cada vez mayor conciencia sobre el beneficio ambiental de la utilización de bicisendas.

### **3. Conclusiones**

La información relevada y los resultados hallados a partir del análisis de esta permiten abordar una serie de conclusiones respecto a:

-El impacto que ha tenido la implementación del sistema de bicisendas/ciclovías en la Ciudad

-Verificar si estas infraestructuras cumplen con las características correspondientes a ciclovías/bicisendas.

Se obtienen las siguientes conclusiones:

-Se observa que algunas de las infraestructuras analizadas no cumplen con las características correspondientes, creando situaciones de inseguridad para los usuarios y su entorno.

-La implementación del sistema de bicisendas/ciclovías influyó positivamente en la mejora de la movilidad urbana de la ciudad.

-La congestión vehicular es un problema grave que afecta en forma directa a la ciudad y degrada la calidad de vida de sus habitantes. La implementación de un sistema de bicisendas y ciclovías puede promover una solución parcial a esta problemática.

-Desde el punto de vista constructivo no se han tomado los recaudos necesarios de manera tal que el riesgo que impacta en la seguridad vial de los ciclistas no sea tan alto.

-La bicisenda/ciclovía es una solución real a las necesidades de transporte de la población, ya que les otorga una modalidad ágil para satisfacer sus necesidades particulares de movilidad urbana. Sin embargo, la seguridad vial de los usuarios es una cuestión importante que reconsiderar.

#### Recomendaciones

En función de lo hablado anteriormente, se pueden formular una serie de recomendaciones:



- Realizar auditorías continuas con el fin de garantizar que las infraestructuras sean aptas para su funcionamiento, que cuenten con las medidas correspondientes, señalización vertical y demarcación horizontal específica para los usuarios de bicicletas y en buen estado, correctos diseños y sentido de circulación de la traza.
- Mejorar las existentes combinaciones de las bicisendas/ciclovías.
- Incrementar la red de bicisendas, pero comenzar a enfocarse en la conectividad del casco urbano con los barrios circundantes.
- Generar espacios para los usuarios en forma tal que estos puedan guardar allí sus bicicletas, dado que algunos usuarios deciden limitar su uso por la inseguridad.
- Incrementar el control vial tanto para asegurar el correcto uso de las bicisendas/ciclovías por parte de los usuarios como para impedir la invasión sobre esta infraestructura del transporte motorizado e incluso peatones.

#### **Referencias bibliográficas**

- Secretaría de Planificación del Transporte, (2018), Anexo V, Lineamientos generales, ciclovías y Bicisendas. Argentina.
- Ministerio de Transporte de la Nación, (2019), Guía para la Realización de Auditorías en Seguridad Vial. Argentina
- Instituto de Investigaciones Gino Germani de la Facultad de Ciencias Sociales, (2021), El auge de la bicicleta en la movilidad durante la pandemia: desafíos y oportunidades. El caso de la ciudad de La Plata. Argentina
- Cal y Mayor (2007). Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones. Alfaomega. México
- Ley Nacional de Tránsito y Seguridad Vial N° 24.449.





LEMAC, CENTRO DE INVESTIGACIONES VIALES CIC PBA  
AV. 60 Y 124 S/N- BERISSO BUENOS AIRES, ARGENTINA  
TEL. +54 9 221 4890413.  
E-MAIL: LEMAC@FRLP.UTN.EDU.AR