

# INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO DE UNA MEZCLA FRENTE AL AHUELLAMIENTO

Carlos Quevedo<sup>1</sup>, Jose Muzzulini<sup>2</sup>, Fabián Alasia<sup>3</sup>, Mariano Sanziani<sup>4</sup>

<sup>1</sup> SACDE, Santa Fe 3830 (Rosario), cquevedo@sacde.com.ar

<sup>2</sup> SACDE, Santa Fe 3830 (Rosario), jmuzzulini@sacde.com.ar

<sup>3</sup> SACDE, Santa Fe 3830 (Rosario), falasia@sacde.com.ar

<sup>4</sup> Maipú 2252 (Casilda), msanziani@gmail.com

## Resumen

El tránsito de la Autopista Buenos Aires – Rosario, es ampliamente superior al de cualquier otra ruta de la Argentina. Altas solicitaciones, asociadas a temperaturas cada vez más elevadas con largos períodos de permanencia, hacen al ahuellamiento, la falla característica de la misma, con una tasa de crecimiento promedio del 5% anual, no existiendo históricamente, obra implementada capaz de reducir la misma.

El avance tecnológico en el desarrollo de polímeros, permite lograr actualmente, asfalto altamente modificado con polímeros (AAMP), aportándole a la mezcla muy buen comportamiento frente a las deformaciones permanentes (ahuellamiento).

Durante el contrato de concesión anterior, se repavimentó la autopista con mezclas asfálticas densas elaboradas con AAMP. Hoy, gran parte de la obra, ha acumulado tres veranos con tránsito en crecimiento, y aun así, la evolución del ahuellamiento es casi nula.

Además, para valuar la mejor performance en servicio de este tipo de mezcla elaborada con AAMP, se construyeron 3 tramos experimentales en la autopista, intervenido cada uno de ellos con una mezcla asfáltica de igual estructura granular, pero diferente cemento asfáltico por tramo (CA30, AM3 y AAMP).

En este trabajo se muestra cómo fue atenuada en la autopista la tasa de crecimiento del ahuellamiento a partir la intervención con mezclas elaboradas con AAMP y los resultados del seguimiento de estos 3 tramos de estudio.

**Palabras Clave:** Autopista, tránsito, ahuellamiento, AAMP.

## 1 Introducción

En el año 2016, durante el anterior período de concesión vial de la Autopista Nacional N°9 (Buenos Aires – Rosario), y ante la aparición en el mercado de un polímero SBS (estireno-butadieno-estireno) lineal que permite lograr asfalto altamente modificado (AAMP), se reformulan la obras de reacondicionamiento de infraestructura (ORI) previstas, con el objeto de reducir/controlar la evolución del ahuellamiento, falla característica de la misma, proponiéndose el reemplazo de algunas de las capas existentes en el paquete estructural, por bases de mezclas asfálticas en caliente de alta prestación y gran capacidad de recuperación ante esfuerzos de deformación, elaboradas con AAMP.

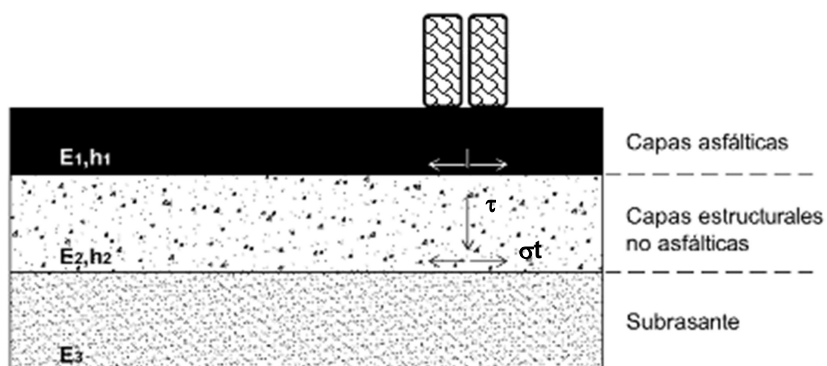
Además, para brindar condiciones de confort, pero sobre todo de seguridad al usuario de la vía, garantizando adecuada fricción y macrotextura de la superficie, se proyectó y ejecutó como carpeta de rodamiento a lo largo de toda la obra, un microconcreto asfáltico en caliente de granulometría discontinua con tamaño máximo de agregado de 10 mm, es decir un MAC F10, elaborado con asfalto modificado con polímeros del tipo AM3.

La realización de este proyecto se llevó a cabo considerando una subdivisión por tramos homogéneos, de acuerdo a la siguiente sectorización:

- Sección 1: Km 157,0 a Km 206,0; Calzada Ascendente
- Sección 2: Km 206,0 a Km 240,0; Calzada Ascendente
- Sección 3: Km 188,0 a Km 240,0; Calzada Descendente
- Sección 4: Km 240,0 a Km 278,3; Calzada Ascendente y Descendente

## 2 Conceptos generales sobre la problemática del ahuellamiento [1]

Conceptualmente, la estructura de un pavimento se encuentra sometida a tensiones de compresión y tracción en puntos singulares que se identifican con las fibras inferiores de las capas asfálticas y las interfaces de contacto entre las bases (materiales no asfálticos) y la subrasante, tal como muestra la Figura 1.



Siendo:  $E_1, E_2, E_3$ : módulos de deformación de cada capa.  
 $h_1, h_2$ : espesores de las capas.  
 $\sigma_t, \tau$ : tensiones en las fibras inferiores de cada capa

Figura 1. Solicitaciones en un pavimento

La causa de la formación de huellas en los pavimentos flexibles reconoce principalmente dos orígenes diferentes:

### 2.1 Ahuellamiento por tensiones excesivas en la subrasante

En este caso, la deformación que se observa en superficie se origina por tensiones axiales de compresión (que provoca el tránsito) superiores a las admisibles, a nivel de la subrasante y/u otras capas inferiores no ligadas.

En estas condiciones, por lo general, el espesor de las capas asfálticas se conserva relativamente constante en todo el ancho de la calzada. En la Figura 2 se esquematiza esta situación.

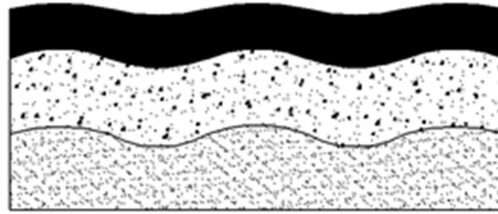


Figura 2. Ahuellamiento por deficiencia en la subrasante

## 2.2 Ahuellamiento por deformación permanente de las mezclas asfálticas

En este caso, el ahuellamiento está directamente relacionado con las deformaciones permanentes (fluencia plástica) de las capas de mezcla asfáltica. Existe pues, una falta de suficiente resistencia al corte, para soportar sin deformarse las reiteradas cargas del intenso tránsito pesado. Este singular tránsito potencia sus efectos “deformantes” a partir de altas temperaturas (mayores en superficie) y reducidas velocidades de circulación (más bajas en zonas urbanas y de congestión).

En deformaciones de este tipo, se distingue por lo general el desplazamiento lateral de las mezclas asfálticas, con las huellas evidenciadas en la superficie del pavimento. En la Figura 3 se esquematiza esta situación.

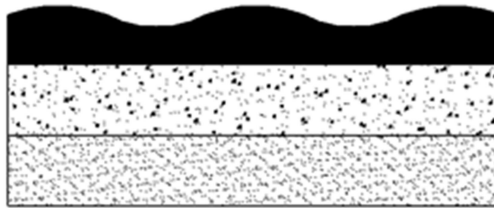


Figura 3. Ahuellamiento por deficiencia de las capas asfálticas

Cabe destacar, que los métodos convencionales de dimensionamiento que se emplean habitualmente en la actualidad, no contemplan la verificación de tensiones críticas por deformaciones permanentes de las mezclas bituminosas. Por tanto, esta problemática se debe abordar a partir del empleo de mezclas especialmente diseñadas para soportar sollicitaciones de esta naturaleza, es decir controlando dosificación, tipo y calidad de los materiales que la componen

## 3 Ahuellamiento en la Autopista Nacional N° 9 y su evolución histórica [1]

La Autopista Buenos Aires – Rosario ha evidenciado, a lo largo de su ya extensa vida en servicio, la recurrente aparición de ahuellamientos; esto último a pesar de frecuentes intervenciones efectuadas como paliativo para el mismo a lo largo de los años.

Lo descripto, se refleja en la Figura 4 y Figura 5, en las cuales se grafica la evolución del ahuellamiento (valores característicos) a lo largo de los años para algunas de las secciones homogéneas en las que se subdivide la autopista. Se aprecia asimismo, la significación que representan las distintas obras de intervención realizadas como paliativo ante el ahuellamiento creciente.

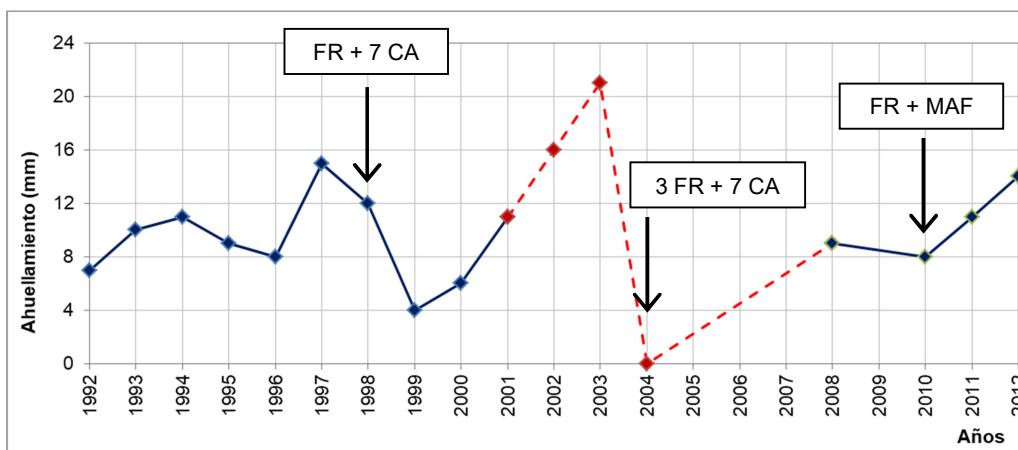


Figura 4. Evolución histórica del ahuellamiento – Km 191 a Km 228 Asc.

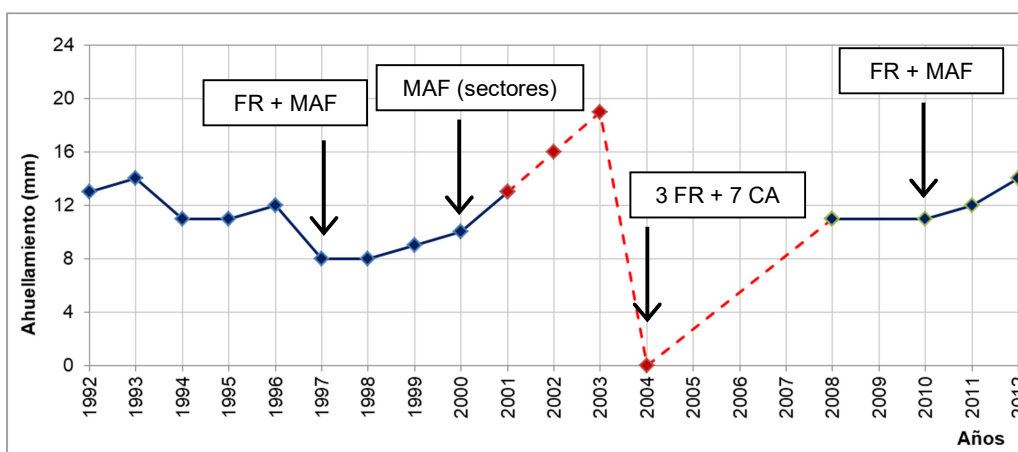


Figura 5. Evolución histórica del ahuellamiento – Km 228 a Km 278 Asc.

De estos gráficos puede concluirse, que más allá de las distintas intervenciones que se han efectuado para la atenuación de este parámetro a lo largo del tiempo, la evolución progresiva vuelve a reiterarse inexorablemente, alcanzando tasas de crecimiento casi constante.

Por su parte la historia constructiva de la autopista indica que, desde su pavimentación inicial, ha recibido sucesivas obras de repavimentación que, sistemáticamente, han incorporado espesores asfálticos como refuerzo que se fueron acumulando a lo largo de los años. Esto ha determinado que a la fecha, la estructura de los pavimentos existentes se destaque por sus elevados espesores asfálticos.

Esta modalidad en las intervenciones, resulta casi siempre en una aceptable respuesta estructural a la luz de los espesores en juego y las premisas de las metodologías de cálculo aplicadas (que la subrasante se ubique suficientemente alejada del sitio donde se aplican las cargas).

Por tanto, las numerosas capas asfálticas con que cuenta la estructura, sumado al importante espesor de capas de base compuestas por materiales de reconocida rigidez y baja deformación (tosca arena asfalto y toscas), indican que su falencia no es la capacidad de transferencia de las cargas al suelo de la subrasante. El problema se manifiesta en la parte superior del pavimento, dado que el

ahuellamiento por deformación plástica afecta a la mezcla asfáltica en la zona cercana a donde se aplica la sollicitación (la zona próxima a la impronta de las cubiertas de los camiones), lo que implica que el problema reconozca su génesis dentro de lo descrito en el ítem “2.2 Ahuellamiento por deformación permanente de las mezclas asfálticas” del presente trabajo.

### 3.1 Sollicitaciones del tránsito pesado

Otro de los aspectos más determinantes a tener en cuenta, es el referido a las condiciones excepcionales y extremas a la que se encuentra sometida esta vía, manifestadas a partir del intenso tránsito pesado, en combinación con las altas temperaturas (sobre todo en época estival) que predomina en la zona.

A efectos de poder cuantificar y dar un orden de magnitud a este fenómeno, se presenta en la Figura 6, un gráfico comparativo del tránsito sobre distintas rutas (las más transitadas del país), en donde observamos que en términos del número N de ejes equivalentes de 8,16 Tn, la autopista Buenos Aires – Rosario, duplica o hasta incluso triplica el número N de cualquiera de las demás.

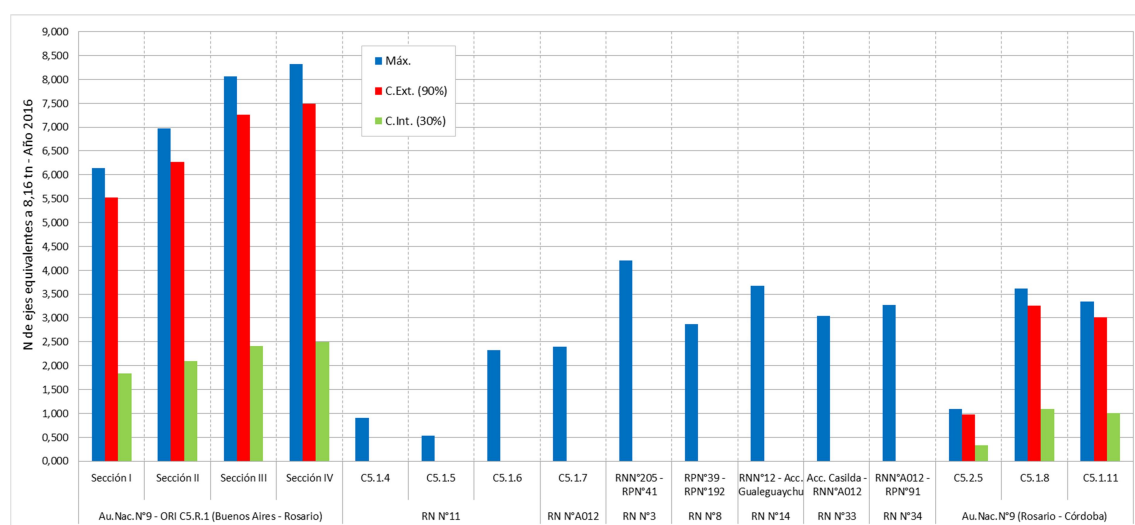


Figura 6. Comparativa  $N_{8,16}$  tn de las rutas más sollicitadas del país

## 4 Introducción a los asfaltos modificados con polímeros [2, 3]

### 4.1 Consideraciones generales

El anterior sistema de concesiones viales, preveía la construcción de obras de rehabilitación de infraestructura con mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos modificados con polímeros SBS del tipo AM3.

Previendo que la demanda de este insumo superaría la capacidad de producción instalada, la Empresa toma la decisión de realizar una importante inversión en la adquisición del equipamiento necesario y específico para desarrollar el proceso de modificación de asfalto a nivel industrial, y así cubrir la demanda cumpliendo los requerimientos contractuales.

Como el asfalto es un producto de deshecho en el proceso de destilación del petróleo, la compatibilidad asfalto-polímero no está siempre garantizada, por lo que el proceso de modificación puede resultar imprevisible.

Por esto, previo a modificar asfalto a nivel industrial, hubo una larga etapa de estudio e investigación en laboratorio, donde se realizaron un sinnúmero de modificaciones tendientes a probar los distintos asfaltos de origen nacional y polímeros de los más variados orígenes y configuración (lineales o radiales).

Esto abarcó una ardua etapa de numerosas pruebas a nivel laboratorio, luego puestas en práctica en la producción a escala industrial, desde la obtención de asfalto modificado del tipo AM3 (4%), hasta llegar a la modificación del ligante convencional con elevados tenores (7,5%) de polímeros de tipo SBS (AAMP).

Tanto en laboratorio como a nivel industrial, el proceso de modificación es idéntico, solo diferenciado en la magnitud de las cantidades empleadas.

#### 4.2 Asfalto modificado con polímeros tipo AM3

En 2011 cuando se inicia el trabajo de investigación y desarrollo en laboratorio, se ensayaron asfaltos CA10 de diferentes destilerías, modificados solo con polímeros SBS radiales, dado que en el mercado no existía polímero lineal con el cual pudieran lograrse los parámetros exigidos para un asfalto AM3.

Trabajar con este tipo de polímero, implicaba riesgos de incompatibilidad asfalto-polímero muy altos, y lograr AM3 con un contenido del 4,0% de SBS, demandaba un proceso de elevadas temperaturas de molienda y digestión, con el potencial riesgo de una oxidación prematura del asfalto.

Con el tiempo, aparece en el mercado un tipo de polímero de configuración lineal, que permite producir asfalto modificado AM3 con un contenido del 4,5% de SBS, con menor riesgo de incompatibilidad asfalto-polímero, y con menor demanda de energía para llevar a cabo molienda y digestión.

La disponibilidad de este polímero lineal, y con la posibilidad de contar con asfalto CA10 de dos destilerías, se concreta el proceso de modificación de asfalto AM3 en planta propia a nivel industrial.

##### 4.2.1 Polímeros SBS

Los polímeros están constituidos por monómeros que al unirse pueden hacerlo dando una estructura lineal o radial, lo que influye en sus propiedades.

Los lineales se forman cuando el monómero que lo origina tiene 2 puntos de unión, de modo que la polimerización ocurre en una sola dirección, pero en ambos sentidos, como se ilustra en la Figura 7.

Estos son fáciles de trabajar en el proceso de modificación de asfaltos, dado que la unión de los monómeros está dada por interacciones débiles, lo que facilita la dispersión del mismo en el asfalto.



Figura 7. Polímero SBS (estructura interna lineal)

Los polímeros radiales, a diferencia de los lineales, tienen 3 o más puntos de unión, de tal forma que la polimerización ocurre en forma tridimensional, en las 3 direcciones del espacio.

Estos son rígidos, y romper su estructura interna para lograr la dispersión en el asfalto demanda mayor energía tiempo en comparación con los polímeros lineales. En la Figura 8, se esquematiza la configuración interna de un polímero radial.

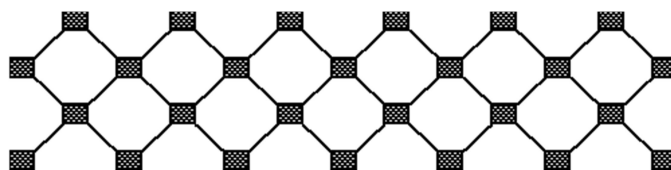


Figura 8. Polímero SBS (estructura interna radial)

En la Tabla 1, se comparan los puntos más importantes en la modificación de asfaltos con polímeros radiales y lineales

Tabla 1. Comparativa en la modificación de asfaltos con SBS radial vs. lineal

| ÍTEM DEL PROCESO DE MODIFICACIÓN    | TIPO DE SBS |             |
|-------------------------------------|-------------|-------------|
|                                     | RADIAL      | LINEAL      |
| (%) de polímeros en la mezcla final | 4,0%        | 4,5% - 7,5% |
| Temperatura de molienda             | 220°C       | 190°C       |
| Riesgo de incompatibilidad          | Alto        | Bajo - Nulo |
| Tiempo de molienda                  | 50 minutos  | 50 minutos  |
| Temperatura de digestión            | 220°C       | 190°C       |
| Tiempo de digestión                 | 8 a 10 hs   | 4 a 5 hs    |

#### 4.3 Asfalto altamente modificado con polímeros (AAMP)

Existen actualmente en el mercado, polímeros que permiten modificar asfalto con mayor contenido de estos en relación a asfaltos modificados del tipo AM3. Este tipo de polímero SBS, se diferencia de los SBS convencionales por presentar estructuras poliméricas lineales y por su contenido de vinilo. Estas propiedades posibilitan la incorporación de mayores contenidos de polímeros en el proceso de modificación, llegando a porcentajes del 7,5% en peso respecto al cemento asfáltico.

Entre las principales ventajas de la utilización de estos polímeros en combinación con los cementos asfálticos se pueden mencionar:

- Posibilidad de utilizar mayores contenidos de polímeros
- Mejor compatibilidad con los asfaltos, con la consecuente disminución del riesgo de incompatibilidad de acuerdo a la variación del tipo y características del cemento asfáltico
- Menores viscosidades del cemento asfáltico modificado resultante
- Mayor estabilidad térmica del cemento asfáltico modificado resultante
- Menores tiempos en el proceso de producción de la combinación asfalto-polímeros

En estos asfaltos altamente modificados (AAMP), la fase continua ya no es la asfáltica sino la polimérica, en proporciones volumétricas que están en el orden del 35% fase asfalto y 65% fase polímero.

#### 4.4 Asfalto modificado (AM3) versus asfalto altamente modificado (AAMP)

##### 4.4.1 Grado de composición polimérica

Para la realización de ensayos de control de parámetros específicos, para el proceso de modificación de asfalto a nivel de laboratorio y de producción industrial, fue necesaria una importante inversión en la compra de equipos, algunos de los cuales, al ser automáticos, reemplazaban a los manuales ya existentes, en la búsqueda de minimizar el grado de incertidumbre de las distintas mediciones.

Es de destacar, la adquisición de un microscopio de alta gama (Figura 9) para determinar el grado de molienda o dispersión del polímero en el asfalto virgen, u observar cualquier anomalía o incompatibilidad durante el proceso de modificación.

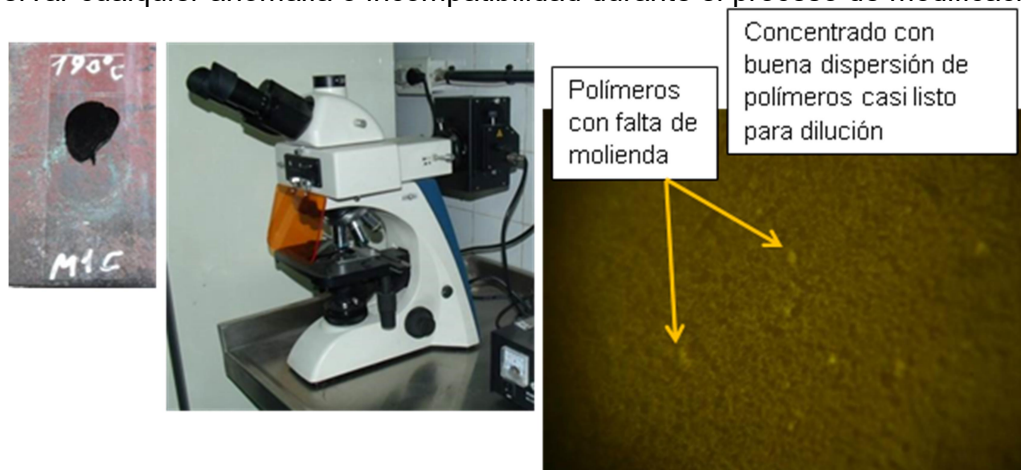


Figura 9. Microscopio de alta gama para seguimiento del proceso de modificación

El asfalto modificado con polímeros es un sistema bifásico constituido por partículas pequeñas de polímero hinchado, disperso en una matriz continua. Cuando la proporción de polímeros es pequeña como en el AM3 (4,0%), la matriz continua la constituye el asfalto, en forma inversa cuando el porcentaje es alto como en el AAMP (7,5%), la matriz continua es el polímero.

En la Figura 10, dos imágenes tomadas al microscopio de un AM3 y un AAMP, se observa para el caso del AAMP, cómo el polímero gobierna la matriz, formando una especie de red elástica.

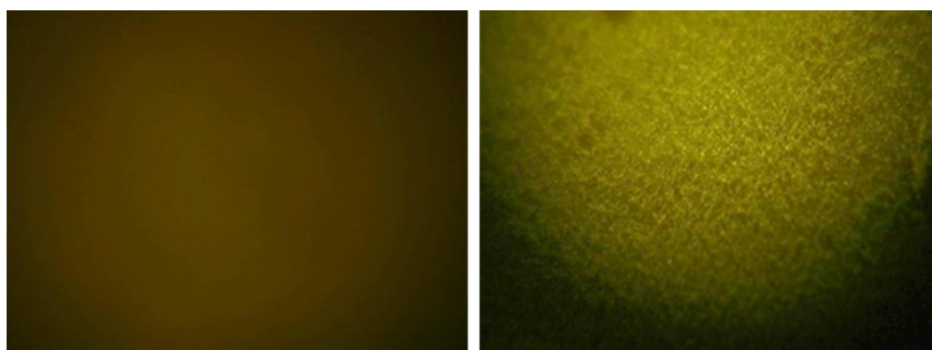


Figura 10. Izquierda: AM3 (matriz asfalto) – Derecha: AAMP (matriz polímero)



#### 4.4.2 Caracterización por reología

Los ensayos convencionales para caracterización de los asfaltos, establecidos en la Norma IRAM 6596 "Asfaltos modificados con polímeros para uso vial", resultan insuficientes para diferenciar la performance en servicio de un AAMP contra un AM3.

Es necesario recurrir a ensayos que consideren las reales condiciones a las que estarán sometidos los asfaltos durante su vida en servicio, sollicitación del tránsito y clima. Por esto se recurre a la caracterización de los asfaltos por reología, aplicando la metodología SuperPave (SUPERior PERforming asphalt PAVements).

Se hizo una inversión importante en el equipamiento de laboratorio necesario para poder aplicar esta metodología de ensayos. Uno de los equipos fundamentales de esta adquisición, fue el reómetro de corte dinámico (DSR) (Figura 11), el cual caracteriza la performance del asfalto ante deformaciones permanentes, cuando el mismo es sometido a elevadas temperaturas.



Figura 11. Reómetro de corte dinámico (DSR)

Este instrumental, permitió realizar en los asfaltos, los ensayos de Performance Grade (PG) según Norma AASHTO T-320, y recuperación elástica a diferentes esfuerzos, o Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) por Norma AASHTO 350-332.

Este último ensayo de caracterización, es muy representativo de las condiciones reales a la que se someterá el asfalto en servicio, y permite encuadrar al asfalto en niveles de tránsito admisibles, en relación con la temperatura de ensayo, de acuerdo a la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de clasificación de acuerdo a ensayo de MSCR

| GRADO                       | ESALs [ $10^6$ ] | VELOCIDAD [km/h] |
|-----------------------------|------------------|------------------|
| "S" Estándar Traffic        | < 3              | y > 70           |
| "H" Heavy Traffic           | > 3; < 10        | o < 70           |
| "V" Very Heavy Traffic      | > 10; < 30       | o < 20           |
| "E" Extremely Heavy Traffic | > 30             | y < 20           |

Los ensayos de caracterización por reología sobre muestras envejecidas de AM3 y AAMP, muestran grandes diferencias entre uno y otro. Los resultados se resumen a continuación en la Tabla 3;

Tabla 3. Resultados de caracterización por reología

| ENSAYO | AM3       | AAMP      |
|--------|-----------|-----------|
| PG     | PG (82)   | PG (88)   |
| MSCR   | PG (76 V) | PG (82 E) |

De los resultados de MSCR se concluye; el AM3 ensayado a 76°C de temperatura admite el grado V (Very Heavy Traffic) de tránsito, mientras que el AAMP a mayor temperatura, 82°C, admite la sollicitación de tránsito E (Extremely Heavy Traffic), nivel máximo establecido en la *Norma AASHTO 350-332*.

Claramente con este tipo de ensayo de caracterización por reología, queda demostrada la mejor performance del AAMP ante el AM3.

#### 4.5 Mezclas elaboradas con asfaltos altamente modificados

Las características que adquiere el AAMP, derivan luego, en una mezcla asfáltica con muy buen comportamiento frente a dos de los fenómenos más usuales y de mayor relevancia en la vida útil de una capa asfáltica, fisuración por fatiga y deformación permanente o ahuellamiento.

Entre otras ventajas también se destacan: la aptitud como capa retardadora de fisuras reflejas debido a la proporción y continuidad de la fase polimérica presente, como también la buena trabajabilidad de la mezcla, incluso para bases asfálticas en las que se utilizan asfaltos de baja penetración.

### 5 Mezclas asfálticas elaboradas con AAMP en la Autopista Nacional N°9

Por lo expuesto anteriormente; planteada la problemática del ahuellamiento en la Autopista Buenos Aires – Rosario, y a partir de la disponibilidad en el mercado de un polímero SBS que permite lograr asfalto altamente modificado (AAMP), el cual le proporciona a la mezcla asfáltica gran capacidad de recuperación ante esfuerzos de deformación permanente, se reformulan las obras de reacondicionamiento de infraestructura (ORI) previstas, proponiéndose el reemplazo de capas de concreto asfáltico existentes, por bases asfálticas elaboradas con AAMP.

El objeto de esta reformulación de obra, es la de reducir y controlar la evolución del ahuellamiento en cada una de las secciones de la autopista, enunciadas en el ítem “1 Introducción” del presente trabajo.

A continuación, para cada uno de estos tramos en los que fue sectorizada la obra, se realiza un análisis de la situación del ahuellamiento previa intervención, y post ejecución de las obras de mejoramiento con bases asfálticas elaboradas con AAMP.

En resumen; se realiza un análisis comparativo de la evolución del ahuellamiento antes de las obras y después de ejecutadas las mismas. Cabe aclarar, que la medición de ahuellamiento con la que se realiza este estudio, fue realizada con equipo multifunción láser de alto rendimiento, que permite el relevamiento de la calzada a velocidad, y prácticamente de manera completa, generando un perfil transversal cada metro, sobre el cual mediante la aplicación de un software que simula la medición con regla de 1,20 m, calcula los valores de ahuellamiento.

## 5.1 Sección 1: Km 157,0 a Km 206,0; Calzada Ascendente

### 5.1.1 Ahuellamiento medido previa ejecución de obra de repavimentación

La Figura 12 grafica la medición de ahuellamiento del carril externo (año 2015).

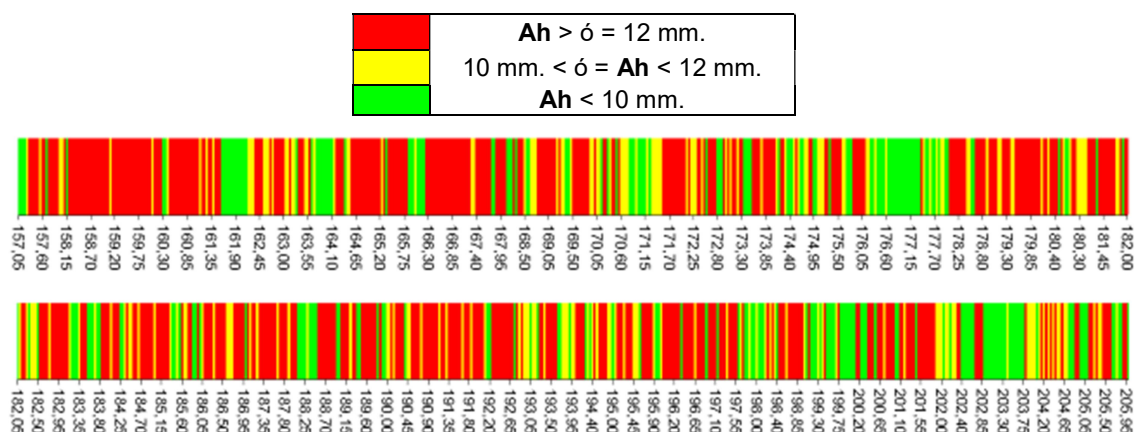


Figura 12. Ahuellamiento carril externo (percentil 90% c/50 m)

### 5.1.2 Esquema de obra de repavimentación ejecutada

La Figura 13 representa en longitudinal y para cada carril, un esquema de la obra ejecutada, con los espesores de fresado (FR) y el tipo de mezcla asfáltica utilizada en cada capa. En el sector que se indica con rayado, la banquina se ejecutó en el ancho completo.

|                          |  |         |         |                                   |
|--------------------------|--|---------|---------|-----------------------------------|
| <b>CARRIL INTERNO</b>    | (TEXTURIZADO) + 3 cm F10                             |         |         | (TEXT.) + 3cm F10                 |
| <b>CARRIL EXTERNO</b>    | (12 cm FR) + 6 cm D19 AM3 + 6 cm D19 AAMP + 3 cm F10 |         |         | (5cm FR) + 5cm D19 AAMP + 3cm F10 |
| <b>BANQ.</b>             | Borde seguro   |         |         |                                   |
| <b>VIDA ÚTIL AA SHTO</b> | 14 años  | 10 años | 10 años | > 15 años                         |
|                          | 157,00   | 166,00  | 176,00  | 191,50                            |
|                          | 157,05   | 166,05  | 176,05  | 191,55                            |

Figura 13. Esquema de obra de repavimentación ejecutada

### 5.1.3 Ahuellamiento medido post ejecución de obra de repavimentación

La Figura 14 muestra la medición de ahuellamiento post ejecución de obra. Se informan valores característicos (percentil 90%) integrados cada 50 m.

Datos a considerar para la interpretación de los resultados:

- Finalización de obra: año 2017
- Fecha de medición de ahuellamiento: agosto de 2020

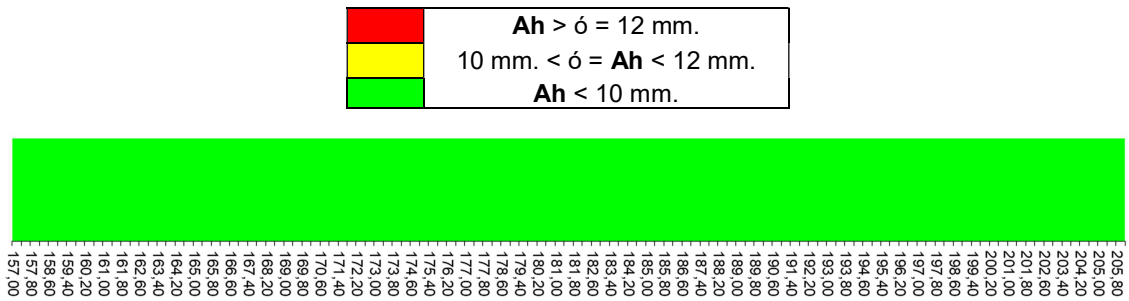


Figura 14. Ahuellamiento carril externo (agosto 2020)

### 5.1.4 Análisis de la evolución del ahuellamiento previa y post obra ejecutada

La Figura 15 muestra la evolución del ahuellamiento (percentil 90% c/50 m) a través de los años.

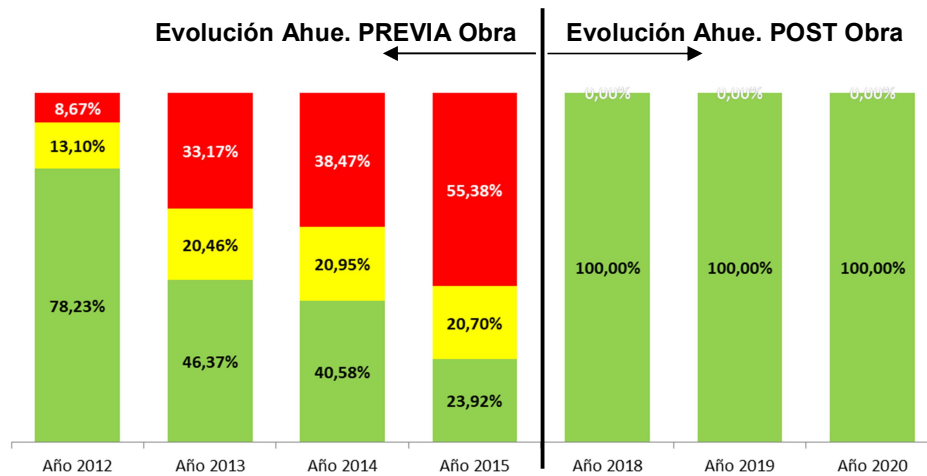


Figura 15. Evolución del ahuellamiento carril externo a través los años

Claramente se observa, cómo es reducida y controlada la tasa de crecimiento del ahuellamiento, a partir de la obra ejecutada.

## 5.2 Sección 2: Km 206,0 a Km 240,0; Calzada Ascendente

### 5.2.1 Ahuellamiento medido previa ejecución de obra de repavimentación

La Figura 16 grafica la medición de ahuellamiento del carril externo (año 2015).

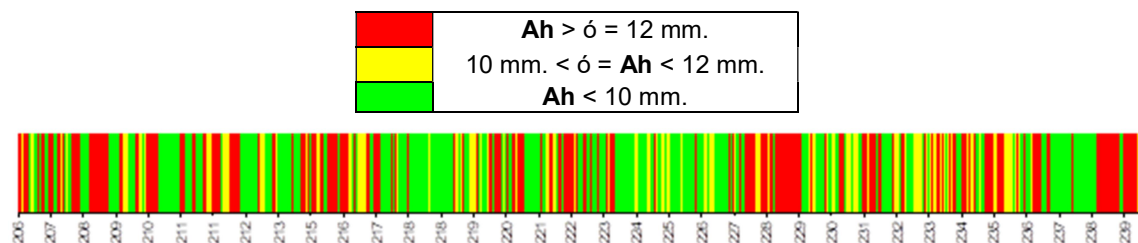


Figura 16. Ahuellamiento carril externo (percentil 90% c/50 m)

### 5.2.2 Esquema de obra de repavimentación ejecutada

La Figura 17 representa en longitudinal y para cada carril, un esquema de la obra ejecutada, con los espesores de fresado (FR) y el tipo de mezcla asfáltica utilizada en cada capa. En el sector que se indica con rayado, la banquina se ejecutó en el ancho completo.

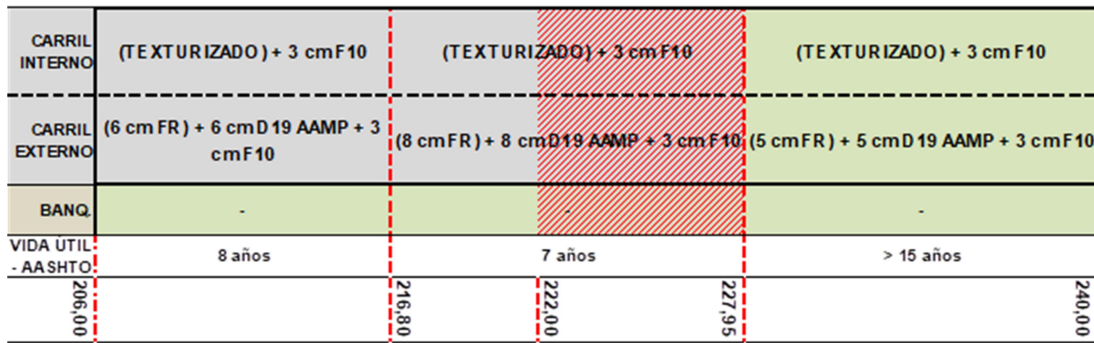


Figura 17. Esquema de obra de repavimentación ejecutada

### 5.2.3 Ahuellamiento medido post ejecución de obra de repavimentación

La Figura 18 muestra la medición de ahuellamiento post ejecución de obra. Se informan valores característicos (percentil 90%) integrados cada 50 m.

Datos a considerar para la interpretación de los resultados:

- Finalización de obra: año 2018
- Fecha de medición de ahuellamiento: agosto de 2020

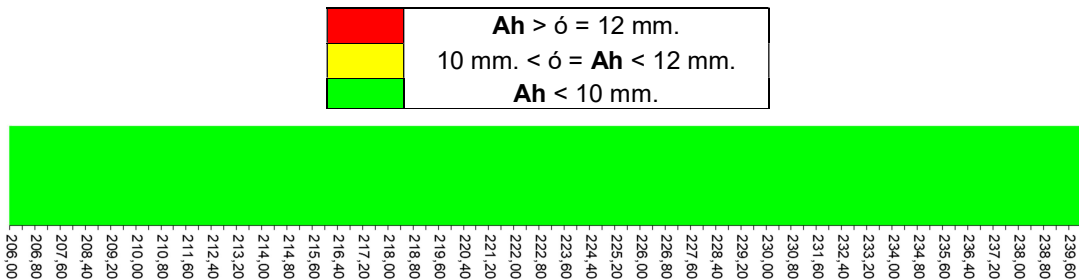


Figura 18. Ahuellamiento carril externo (agosto 2020)

### 5.2.4 Análisis de la evolución del ahuellamiento previa y post obra ejecutada

La Figura 19 muestra la evolución del ahuellamiento (percentil 90% c/50 m) a través de los años.

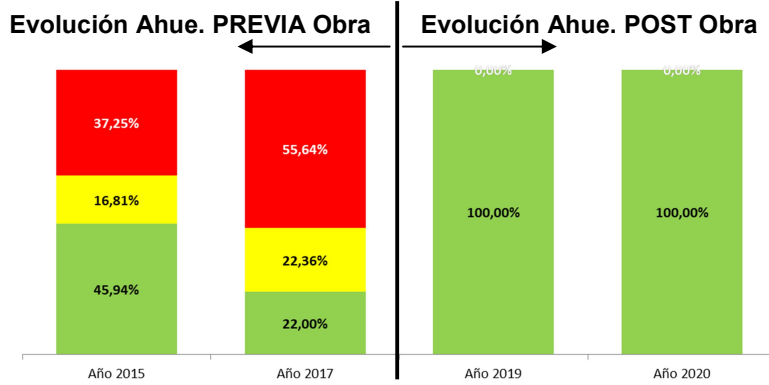


Figura 19. Evolución del ahuellamiento carril externo a través los años

Claramente se observa, cómo es reducida y controlada la tasa de crecimiento del ahuellamiento, a partir de la obra ejecutada.

### 5.3 Sección 3: Km 188,0 a Km 240,0; Calzada Descendente

#### 5.3.1 Ahuellamiento medido previa ejecución de obra de repavimentación

La Figura 20 grafica la medición de ahuellamiento del carril externo (año 2015).

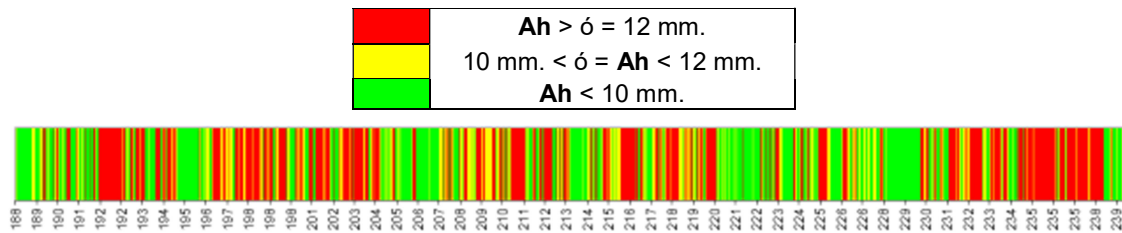


Figura 20. Ahuellamiento carril externo (percentil 90% c/50 m)

#### 5.3.2 Esquema de obra de repavimentación ejecutada

La Figura 21 representa en longitudinal y para cada carril, un esquema de la obra ejecutada, con los espesores de fresado (FR) y el tipo de mezcla asfáltica utilizada en cada capa.

|                 | 00+00                       | 191+50                           | 204+00 | 227+95                              | 240+00    |
|-----------------|-----------------------------|----------------------------------|--------|-------------------------------------|-----------|
| BANQUINA        | 6 cm CAC Ca 30              |                                  |        |                                     |           |
| CARRIL EXTERNO  | (2 FR) + 8 D19 AAMP + 3 F10 | 6 cm FR) + 6 D19 AAMP + 3 cm F10 |        | 5 cm FR) + 5 cm D19 AAMP + 3 cm F10 |           |
| CARRIL INTERNO  | (TEX) + 6 D19 AAMP + 3 F10  | (TEXTURIZADO) + 3 cm F10         |        | (TEXT) + 3 cm F10                   |           |
| VDAUTIL. AASHTO | 8 años                      | 7 años                           |        | 7 años                              | > 16 años |

Figura 21. Esquema de obra de repavimentación ejecutada

### 5.3.3 Ahuellamiento medido post ejecución de obra de repavimentación

La Figura 22 muestra la medición de ahuellamiento post ejecución de obra. Se informan valores característicos (percentil 90%) integrados cada 50 m.

Datos a considerar para la interpretación de los resultados:

- Finalización de obra: año 2018
- Fecha de medición de ahuellamiento: agosto de 2020

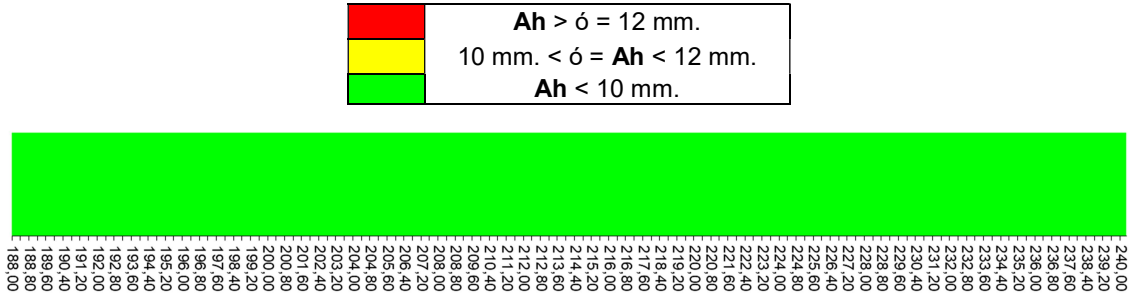


Figura 22. Ahuellamiento carril externo (agosto 2020)

### 5.3.4 Análisis de la evolución del ahuellamiento previa y post obra ejecutada

La Figura 23 muestra la evolución del ahuellamiento (percentil 90% c/50 m) a través de los años.

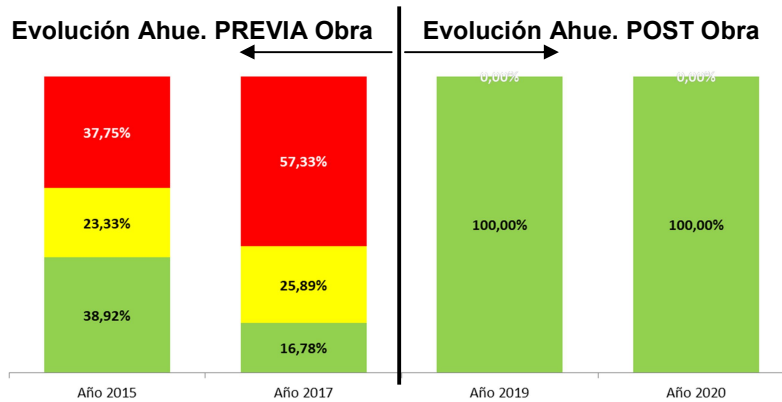


Figura 23. Evolución del ahuellamiento carril externo a través los años

Claramente se observa, cómo es reducida y controlada la tasa de crecimiento del ahuellamiento, a partir de la obra ejecutada.

## 5.4 Sección 4: Km 240,0 a Km 278,3; Calzada Ascendente y Descendente

### 5.4.1 Ahuellamiento medido previa ejecución de obra de repavimentación

La Figura 24 y Figura 25, grafican la medición de ahuellamiento del carril externo de la calzada ascendente y descendente respectivamente (año 2017).



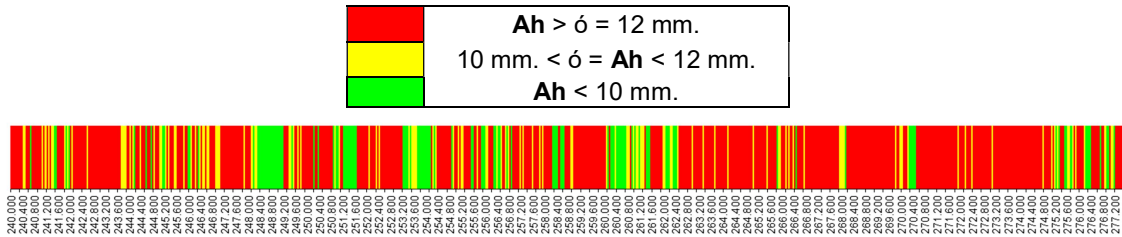


Figura 24. Ahuellamiento carril externo ascendente (percentil 90% c/50 m)

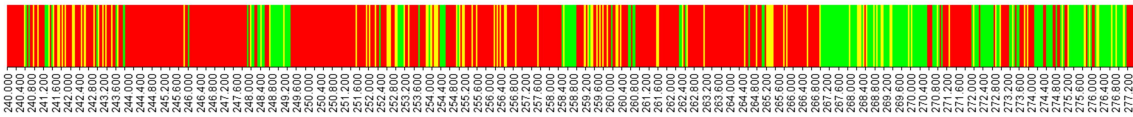


Figura 25. Ahuellamiento carril externo descendente (percentil 90% c/50 m)

#### 5.4.2 Esquema de obra de repavimentación ejecutada

La Figura 26 representa en longitudinal y para cada carril, un esquema de la obra ejecutada, con los espesores de fresado (FR) y el tipo de mezcla asfáltica utilizada en cada capa.

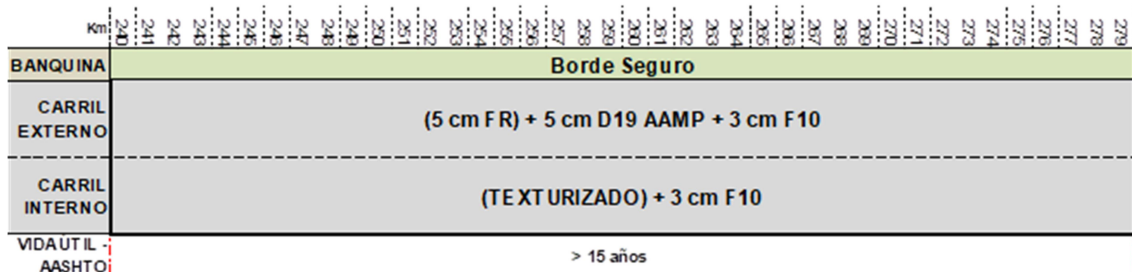


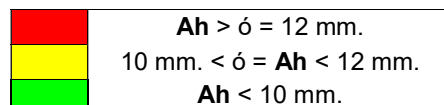
Figura 26. Esquema de obra de repavimentación ejecutada (ambas calzadas)

#### 5.4.3 Ahuellamiento medido post ejecución de obra de repavimentación

La Figura 27 y Figura 28, muestran la medición de ahuellamiento post ejecución de obra, del carril externo ascendente y descendente respectivamente. Se informan valores característicos (percentil 90%) integrados cada 50 m.

Datos a considerar para la interpretación de los resultados:

- Finalización de obra: año 2018
- Fecha de medición de ahuellamiento: agosto de 2020





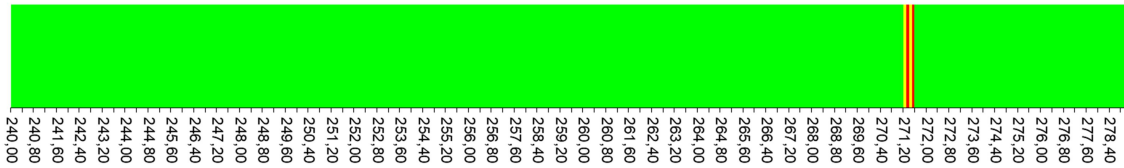


Figura 27. Ahuellamiento carril externo ascendente (agosto 2020)

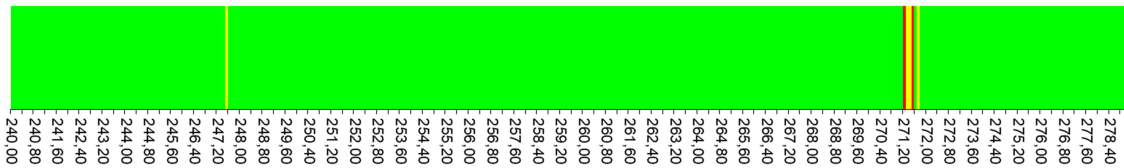


Figura 28. Ahuellamiento carril externo descendente (agosto 2020)

#### 5.4.4 Análisis de la evolución del ahuellamiento previa y post obra ejecutada

La Figura 29 y Figura 30, muestran la evolución del ahuellamiento del carril externo ascendente y descendente respectivamente (percentil 90% c/50 m) a través de los años.

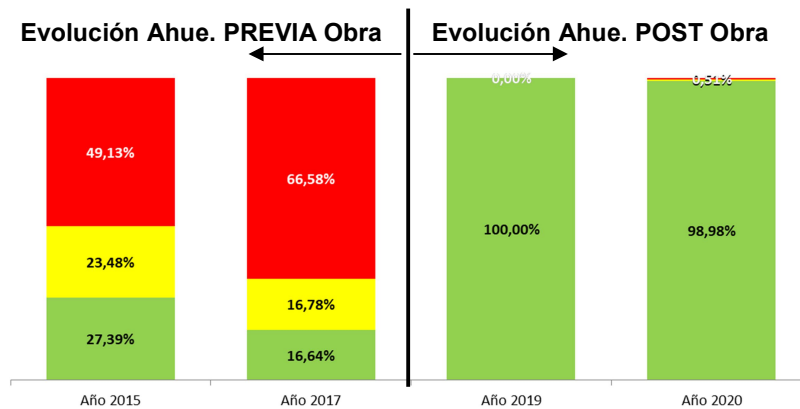


Figura 29. Evolución del ahuellamiento carril externo ascendente a través los años

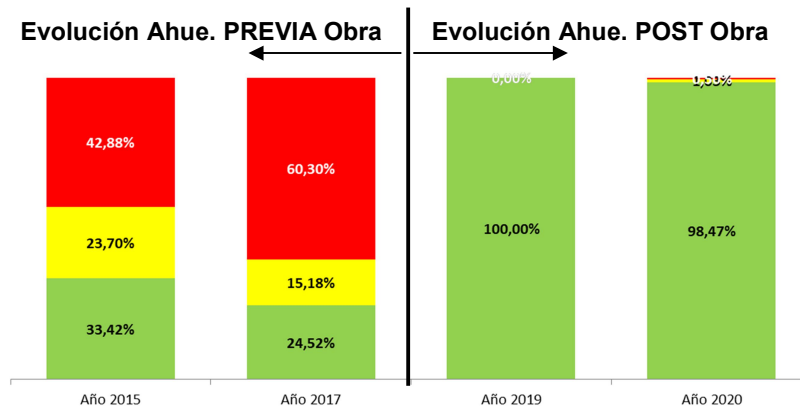


Figura 30. Evolución del ahuellamiento carril externo descendente a través los años

Claramente se observa, cómo es reducida y controlada la tasa de crecimiento del ahuellamiento, a partir de la obra ejecutada.

## 6 Tramos experimentales

A fin de estimar y valorar las cualidades ante esfuerzos de deformaciones permanentes de las mezclas asfálticas en caliente elaboradas con AAMP, frente a mezclas de iguales características granulométricas elaboradas con asfalto convencional CA30, y asfalto modificado AM3, se construyeron 3 tramos experimentales dentro de la traza de la Autopista Buenos Aires – Rosario, donde se colocaron estas 3 mezclas asfálticas y se dejaron expuestas al tránsito desde julio 2017 para el seguimiento de la evolución del ahuellamiento.

Estos 3 tramos de 500 m cada uno, se construyeron sucesivamente en un sector del carril externo de la calzada ascendente, que presentaba condiciones superficiales y estructurales homogéneas, fundamentalmente comportamiento homogéneo frente al parámetro que se pretende evaluar, en este caso el ahuellamiento de las mezclas asfálticas.

Con este requisito, se procura que el posterior análisis comparativo esté mínimamente influenciado por las heterogeneidades de la estructura que servirán de base o apoyo a las mezclas asfálticas a estudiar.

### 6.1 Ubicación y obras realizadas en los tramos de prueba

Finalmente, los tramos de prueba se construyeron entre el Km 208 y Km 209,50 del carril externo de la calzada ascendente, y se ejecutaron las siguientes tareas:

- Fresado de la superficie del pavimento existente en 14 cm de espesor promedio.
- Base de mezcla asfáltica con AAMP, en 8 cm de espesor, con el objeto de apoyar las mezclas a evaluar sobre una misma superficie y minimizar posibles heterogeneidades.
- Carpeta de rodamiento en 6 cm de espesor y según el siguiente detalle:

|  |
|--|
| <u>Km 208,00 a Km 208,50</u> : Longitud: 500 metros.<br>Concreto asfáltico caliente tipo CAC D19 con asfalto convencional CA30.        |
| <u>Km 208,50 a Km 209,00</u> : Longitud 500 metros.<br>Concreto asfáltico caliente tipo CAC D19 con asfalto modificado AM3.            |
| <u>Km 209,00 a Km 209,50</u> : Longitud 500 metros.<br>Concreto asfáltico caliente tipo CAC D19 con asfalto altamente modificado AAMP. |

La Figura 31 resume lo expuesto:



Figura 31. Ubicación de los tramos experimentales, carril externo de calzada asc.

## 6.2 Seguimiento de la evolución del ahuellamiento

Periódicamente, se mide ahuellamiento con regla de 1,20 m y cuña graduada, cada 50 m en puntos georeferenciados, para evaluar su evolución. En la Tabla 4 y Figura 32, se resumen por fecha, los valores promedios medidos en cada tramo.

Tabla 4. Evolución del ahuellamiento medido

| Mezcla     | Valores de ahuellamiento promedio por fecha de medición (mm) |            |            |            |            |            |            |            |
|------------|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|            | 03/10/2017   | 19/01/2018 | 21/03/2018 | 19/04/2018 | 05/07/2018 | 08/11/2018 | 01/03/2019 | 18/07/2019 |
| D19 C/CA30 | 0,0  | 1,2        | 1,4        | 1,7        | 1,8        | 2,0        | 2,3        | 2,4        |
| D19 C/AM3  | 0,0  | 1,0        | 1,2        | 1,3        | 1,3        | 1,5        | 1,6        | 1,7        |
| D19 C/AAMP | 0,0  | 1,1        | 1,1        | 1,2        | 1,2        | 1,3        | 1,4        | 1,4        |

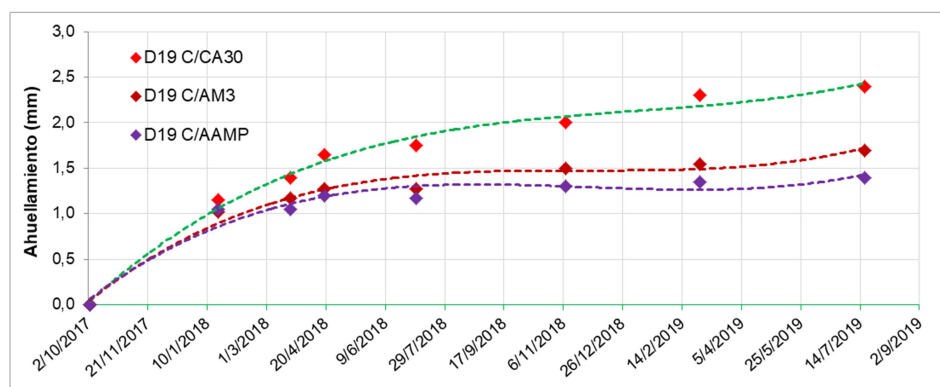


Figura 32. Evolución del ahuellamiento medido

## 6.3 Ensayo de Wheel Tracking

Se realizaron ensayos de rueda cargada en laboratorio a muestras de mezclas de producción luego colocadas en los tramos de estudio. La Figura 33 muestra los resultados.

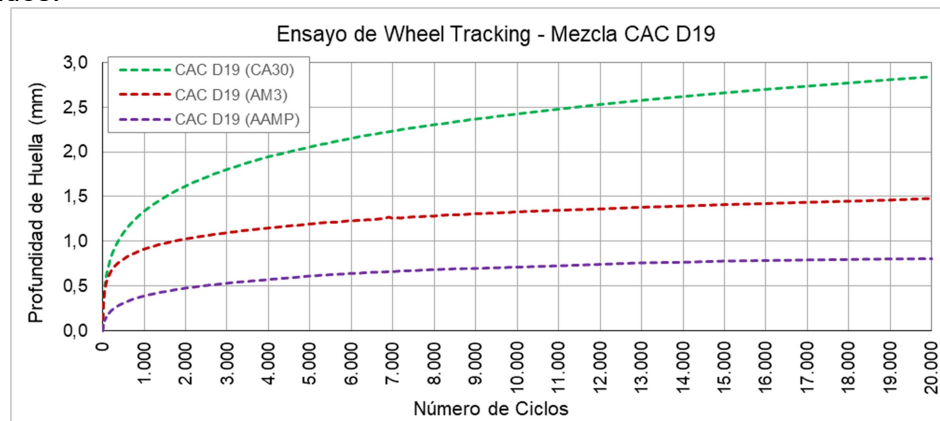


Figura 33. Ensayo de rueda cargada s/muestras de mezclas asfálticas de producción

A partir de los resultados del ensayo de Wheel Tracking, y del seguimiento de la evolución del ahuellamiento, queda en evidencia, el mejor comportamiento ante deformaciones permanentes, de la mezcla asfáltica elaborada con AAMP.

Además, puede observarse en general, que hay muy buena correlación entre la evolución de los valores medidos, y los resultados de rueda cargada.

## 7 Conclusiones

Los numerosos estudios previos para la realización de los proyectos ejecutivos de las intervenciones realizadas, desde el año 1990 al 2015, en la Autopista Buenos Aires – Rosario, han demostrado en forma contundente, que el tipo de falla preponderante, ahuellamiento o deformaciones permanentes, son debidas a las distintas mezclas asfálticas, preexistentes, variadas en sus formulaciones y no acordes al tipo y cantidad de tránsito actual.

Con respecto a esos tipos de mezclas enunciadas en el punto anterior, se puede mencionar a manera de ejemplo, la existencia en varios sectores y niveles distintos, de mezclas del tipo TOPEKA [4]. Estas, en forma sintética, tenían una estructura granular satisfactoria para aquellos tiempos, pero incompatibles para la actualidad. Fundamentalmente las granulometrías respondían a los siguientes porcentajes: 35% de retenidos en tamiz N°8, y 65% pasante en dicho tamiz. Altos contenidos de arena naturales y empleo de asfaltos del tipo “Bitalco” (CA20 denominación actual).

También han sido detectadas mezclas que se podrían denominar densas convencionales, con altos contenidos de arenas naturales, contenidos de asfaltos muy superiores a los de uso actual, y con viscosidades del asfalto recuperado que no superaban los 1000 Poise.

Las diferentes mezclas asfálticas preexistentes al año 1990, se apoyaban en espesores importantes, constituidos con mezclas de tosca-arena-asfalto. Este material, en lo que hace a su composición, y de ensayos realizados, se desprende una heterogeneidad muy marcada en los porcentajes de asfaltos. Por comparación; muy altos entre el Km 77 y 227, y de ésta al Km 278, bajos con aparición de fisuras. Siempre asfaltos blandos.

Estos antecedentes, obligaron a través del tiempo a convivir con el tipo de falla y por ende gestionar las intervenciones, en la forma más eficiente.

Hoy la solución adoptada es prácticamente la definitiva, y no podemos dejar de destacar como un hecho casi inaudito, que haya sido una empresa constructora quien introdujo en Argentina la tecnología del asfalto altamente modificado, elaborando y controlando con normativas sin vigencia en el país un aglomerante de performance muy superior a los ligantes empleados en la actualidad, y dejando un legado muy importante a la ingeniería vial de la región.

## 8 Referencias

- [1] Ityac, Informe técnico: “La problemática del ahuellamiento en la autopista Buenos Aires – Rosario”, marzo 2012
- [2] Laboratorio Sacde: “Asfaltos altamente modificados (HiMA – Highly Modified Asphalts)”. XVIII Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Bariloche, noviembre 2015
- [3] Laboratorio Sacde: “Experiencia en la modificación de asfaltos con diferentes tipos de polímeros”. XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Rosario, octubre 2016
- [4] Llano, O. Publicación: “Revista Carreteras Año XXII”. Dirección: Ruiz, C., enero 1978