

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON MATERIAL RECICLADO COLOCADAS EN BASES DE ELEVADO ESPESOR Y EXIGIDAS A UN ALTO TRÁNSITO

Lisandro Daquerre<sup>(1)</sup>, Diego Larsen<sup>(1)</sup>, Eduardo Williams<sup>(1)</sup>, Elisa Frígoli<sup>(1)</sup>, Ernesto Mule<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> UIDIC -LaPIV. Laboratorio de Pavimentos e Ingeniería Vial. Fac. de Ingeniería U.N.L.P. La Plata – Argentina e-mail: lapiv@ing.unlp.edu.ar; daquerre@ing.unlp.edu.ar

<sup>(2)</sup> CEAMSE: Asistencia Técnica. Camino Parque del Buen Ayre, Argentina.

**Palabra clave:** Módulo Dinámico. Mezclas Asfálticas Densas. RAP. Viscosidad

### RESUMEN

La incorporación y desarrollo de nuevas tecnologías en los equipos de obra para su empleo en la colocación y compactación de mezclas asfálticas, ha posibilitado llevar a cabo las primeras experiencias en la Argentina con mezclas densas elaboradas en caliente con un 20% de material reciclado (RAP), y colocadas en una única pasada de 18cm, muy superiores a lo que recomienda la tradición.

En este sentido se reportan los resultados alcanzados luego de haber sido extendidas más de 60000 tn de mezcla asfáltica con RAP.

Se han efectuado estudios y ensayos en laboratorio y obra, mensurando por ejemplo la curva de enfriamiento del material distribuido, tanto superficialmente como en el fondo de la capa y la evolución del grado de compactación con las pasadas de los rodillos lisos oscilatorios.

Han sido extraídos testigos asfálticos para determinar las propiedades volumétricas y mecánicas Marshall, evaluando comparativamente el Stiffness del material en la parte superior con la inferior y a su vez recuperado el ligante asfáltico con la finalidad de conocer la respuesta viscoelásticas, a un año de la puesta en servicio.

Se puede aseverar como conclusión, que el comportamiento o servicio brindado por la calzada, al ser exigida por el tránsito pesado resultó ser sumamente satisfactorio, con lo cual cuando se efectúa un buen diseño y control de la puesta en obra, las tecnologías bien aplicadas pueden ser muy útiles para acortar por ejemplo plazos de obra generando ahorros para la comunidad.

### INTRODUCCIÓN- CONSIDERACIONES GENERALES

Con la presente comunicación y luego de haber transcurrido más de un año de la rehabilitación del Camino Parque del Buen Ayre, se reporta la evolución de determinados parámetros mecánicos y volumétricos que sirven como indicadores para evaluar cómo ha sido la respuesta del material colocado como Base Inferior asfáltica, al ser exigido por las cargas del tránsito durante este período.

La Autopista del Camino Parque del Buen Ayre inaugurada en 1982, se encuentra localizada a unos 25 km al norte de la ciudad de Buenos Aires. Vincula los accesos Norte y Oeste a dicha ciudad poseyendo una longitud aprox. de 22,6 km. Está conformada con tres carriles por lado, con banquetas sectorialmente pavimentadas y numerosos intercambiadores la cruzan a lo largo la traza. Transcurridos 30 años, entre mayo 2012 y dic 2015 se llevaron a cabo trabajos de rehabilitación para poder satisfacer la demanda de tránsito por los próximos 15 años. Esquemáticamente en la Figura 1, se presenta la estructura original y la final construida, sin incluir la banqueta interna en el carril rápido:

CALZADA PRINCIPAL		ANCHO 10,50 m	
<u>CARRIL RAPIDO</u>		<u>CARRIL MEDIO - LENTO</u>	
EXISTENTE	CONSTRUIDO	EXISTENTE	CONSTRUIDO
Cota Proyecto + 10 cm		Cota Proyecto + 10 cm	
Cota actual +0,0		Cota actual +0,0	
6 cm, CAC (a fresar)	5 cm SMA 19mm 9 cm, CAC D19 con AM3 2 cm SAMI	6 cm CAC (a fresar)	5 cm SMA 19mm 9 cm, CAC D19 con AM3
16 cm Tosca Arena Asfalto	16 cm Tosca Arena Asfalto	16 cm Tosca Arena Asfalto (a fresar)	18 cm Base Granular c/ 20%RAP Clasific. CA 30 (3 capas de 6cm)

Figura 1, Propuesta de Intervención

En síntesis, la estructura nueva, se conformó en los carriles medio y lento por una sub base granular asfáltica de 18 cm de espesor elaboradas con un cemento asfáltico CA30 y hasta con un 20% de material reciclado o RAP. La base superior de 9 cm de espesor, se integra con un Concreto Asfáltico en Caliente Denso (CACD19) ligado con un betún modificado con polímeros del tipo SBS. Finalmente la estructura de rodamiento se completa con una carpeta en 5cm de espesor con una mezcla del tipo Stone Mastic Asphalt (SMA) con tamaño máximo de 19 mm y ligante AM3.

#### Operatoria, Proceso Constructivo

##### Intervención en Carril lento y medio - Base Asfáltica Inferior

Originalmente, la intervención sobre la primera base de 18cm, preveía que la misma fuera ejecutada en 3 capas de 6 cm de espesor. En una oportunidad se la colocó en una única capa de concreto asfáltico de 18 cm de espesor, -en coincidencia con el ingreso a un relleno sanitario-, dada la inestabilidad climática existente, que hacía imperioso producir el tapado o cobertura de la cancha abierta. Por ende la inspección tomó la decisión de hacer colocar la mezcla en una única pasada con la intención de provocar la habilitación en forma preventiva dado que la intención era posteriormente rehacer la misma. Se efectuaron ensayos exhaustivos y se evaluó su comportamiento durante un mes. Dada la respuesta satisfactoria frente al tránsito en el período analizado, es que se adoptó la decisión de continuar trabajando en elevados espesores pero con un seguimiento más intenso.

##### Proceso de elaboración, Puesta en Obra y Contralores in situ:

La usina asfáltica empleada para la elaboración de la mezcla asfáltica con Rap, fue una AMMANN discontinua con capacidad de 150tn/h, de la empresa COARCO. Se caracterizó, al asfalto del RAP empleado y al del material elaborado, midiendo la viscosidad a 60°C luego de efectuar recuperaciones controladas bajo la norma UNE 12697-3. Esto permitió que se incorpore hasta un 20% de Rap en la mezcla asfáltica, sin que se vean afectadas las propiedades viscoelástica, mecánicas y volumétricas de la mezcla asfáltica.

El traslado del material elaborado fue realizado en camiones con bateas que transportaban aprox. la carga neta con 30tn. La caja de los mismos estaba recubierta con una lona para limitar la posible oxidación del asfalto durante el transporte hasta el frente de obra.



Para la distribución se empleó una terminadora Vogele 1600-2, apoyada sobre orugas, lo cual facilitó la tracción sobre el terreno para colocar la mezcla en el espesor de 18cm. Dispone de tampers con vibración para alta compactación. El proceso de compactación se realizó con dos rodillos Wirtgen HD90 y HD110 con capacidad de oscilación. Estos poseen la particularidad de producir tanto en avance como en retroceso, fuerzas que se transmiten al terreno en forma de cizallamiento, brindando una energía adicional a la ejercida por el peso propio del rodillo, este proceso ha sido denominado compactación inteligente. [1].

El grado de compactación in situ fue constatado con un medidor nuclear Troxler 3440, siendo el mismo ajustado para hacer las lecturas por retrodispersión en 15 segundos. El solapamiento entre las pasadas del rodillo, hizo de las mediciones se hicieran sobre uno de los lados laterales.

En la Figura 2, se reflejan los resultados alcanzados, expresados tanto en grado de compactación como en reducción de vacíos con el número de pasadas del rodillo con la reducción de la temperatura de la mezcla asfáltica colocada.

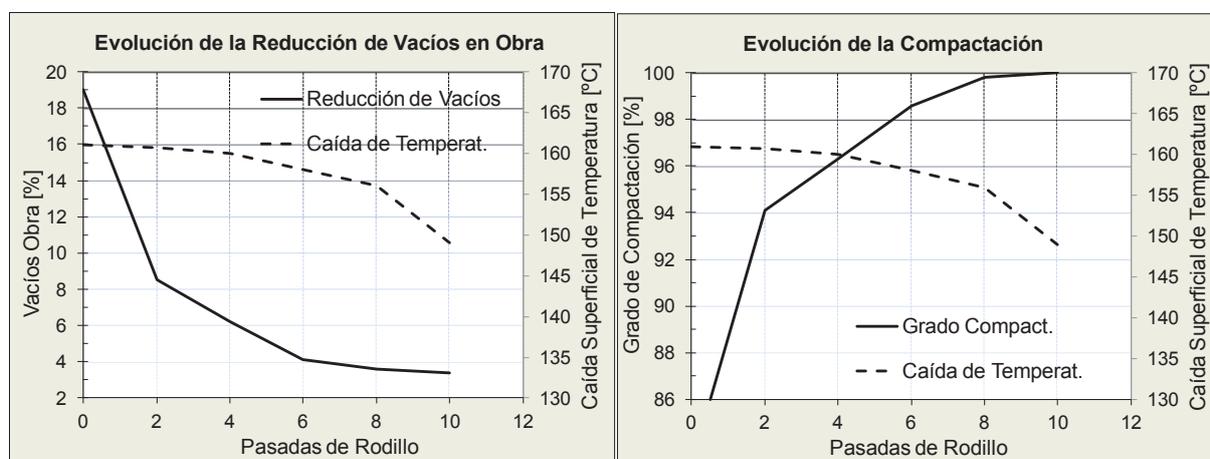


Figura 2

También se registró la temperatura sobre camión y a la salida de la terminadora, obteniéndose la curva de enfriamiento del material colocado a distintas profundidades, la cual fue contrastada con el programa de cálculo Multicool desarrollado en la Universidad de Minnesota, California [2].

Otro de los controles efectuados en obra, fue la medición superficial de la temperatura del material extendido y su variación térmica, con una cámara fotográfica termográfica. Como señala Jacinto García et al[3], estos gradientes pueden traer aparejados una serie de inconvenientes como es un mantenimiento anticipado por aparición de algún tipo de patología asociado a la segregación térmica.

### Control de recepción: Testigos, Vacíos, Módulo Dinámico, Viscosidad ligante Análisis e interpretación de resultados

Los métodos de control tradicionales para recepcionar los pavimentos asfálticos, están basados en alcanzar un determinado grado de compactación, relacionando la densidad aparente de las probetas asfálticas moldeadas en laboratorio con las obtenidas de los testigos extraídos de la cancha ya ejecutada. De esta manera se asegura que el material compactado garantice una determinada resistencia al corte durante su vida útil.



Figura 3

Al final de la obra el control de recepción

fue realizado calando testigos aleatoriamente, con una frecuencia de 1 por cada dos bateas que se colocaron. Se conformaron lotes limitados a la producción diaria evaluándose el espesor y los vacíos. Estos últimos fueron determinados en el espesor integral, y por capas, comparándose los registros alcanzados en la capa superior respecto de la inferior. Los valores obtenidos se encuadraron dentro de las tolerancias de diseño. Se detectó que la capa inferior alcanzó valores medios inferiores al 5% y en un 0.6% más alto al valor medio de la capa superior.

Un análisis de varianza ANOVA, fue empleado para constatar si el grado de compactación afectó significativamente los Vacíos, según la capa en que se encuentren ya sea en la zona superior o inferior. El análisis estadístico para un intervalo de confianza del 95%, arrojó que un solo lote -de 11- era significativa esta diferencia ( $F > F_{crit}$ ). De los testigos inferiores uno solo sobrepasa el 5% de vacíos (límite superior admisible para la recepción) siendo la diferencia entre extremos del 1,2%. [4]

A un año de la habilitación se extrajeron nuevos testigos y se obtuvieron los siguientes valores medios de vacíos,

Tabla 1

VACÍOS MEDIOS, TESTIGOS				
Lote Obra	Capa Superior		Capa Inferior	
	INICIAL	un año +	INICIAL	un año +
1614	3,8	2,8	4,1	3,5
1615	2,9	2,5	3,4	2,7
1612	3,5	2,8	4,8	3,2

Cada lote analizado contiene al menos 6 testigos, encontrándose al efectuar un análisis ANOVA de una variable, que no existen variaciones medias significativas entre los grupos tanto para capa superior e inferior, luego de haber transcurrido un año desde la puesta en servicio. Los vacíos medios se encuentran dentro del límite inferior admisible, pero aún el material compactado posee huecos suficientes para alojar el asfalto que eventualmente podría fluir con el paso del tránsito pesado.

Otra de las propiedades de las mezclas asfálticas que tiene influencia en la respuesta estructural de los pavimentos es el *Módulo Dinámico*. Sobre los testigos de 100mm de diámetro, extraídos luego de estar un año en servicio, se les determinó el Módulo Dinámico Resiliente por Compresión Diametral, según la norma UNE EN 12697- 26[5], aplicándole un tiempo de carga de 124 ms equivalente a 2hz.

En la Tabla 2, se reportan algunos de los valores medios del Módulo Dinámico Resiliente ( $E_{din}$ ) a 20°C obtenidos en cada lote y también se hace un análisis estadístico con los resultados de los testigos originales.

Tabla 2

LOTE	Edin Sup		Edin Inf		R <sup>2</sup>	Se/Sy	Criterio	ANOVA
	Promedio	ds St	Promedio	ds St				
1328	5500	619,1	5415	731,3	0,91	0,32	Excelente	No signif.
1351	5100	695,2	4507	1093,3	0,58	0,50	Adecuado/Bueno	No signif.
1371	3656	922,1	3113	729,1	0,83	0,38	Bueno/Bueno	No signif.
1372	4733	564,5	4417	422,7	0,22	0,83	Pobre/Pobre	No signif.
1374	4133	631,4	3950	609,1	0,72	0,37	Bueno/Bueno	No signif.
1375	3914	884,0	3757	741,3	0,88	0,29	Bueno/Excelente	No signif.
1376	3567	382,3	3542	443,3	0,58	0,54	Adecuado/Bueno	No signif.
1381	5138	520,8	4525	599,4	0,02	0,93	Muy pobre	Significativa

Se aplicó el criterio estadístico -subjetivo- propuesto por Witczak [6, 7] para evaluar la correlación existente entre los valores del Módulo Resiliente, ya sean de la capa superior y de la capa inferior.

La valoración de correlación que emplea, se encuentra reflejada en la Tabla 3:

Criterio	R <sup>2</sup>	Syx/Sy
Excelente	0,90	0,35
Bueno	0,70 - 0,89	0,36 - 0,55
Adecuado	0,40 - 0,69	0,56 - 0,75
Pobre	0,20 - 0,39	0,76 - 0,89
Muy Pobre	0,19	0,90

En donde:

R<sup>2</sup>: Coef. de correlación (dispersión de puntos)

Syx: Error típico de la estimación de los valores

Sy: Desviación estándar de valores medidos

Tabla 3

El error estándar de estimación representado por el símbolo Syx mide la dispersión de los valores observados alrededor de la línea de regresión.

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum y^2 - a(y) - b(\sum xy)}{n - 2}} \quad (1) \quad a = \frac{\sum y}{n} - \frac{b_1 \sum x}{n} \quad (2) \quad b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (3)$$

Donde:

a ; b: Coeficientes de intercepción y tamaño utilizando el método mínimo de cuadrados

y ; x: Variables (capa superior x ; capa inferior y)

Los valores promedio muestran para todos los lotes, que los registros determinados en los testigos correspondientes a la capa superior son mayores a los de la capa inferior.

El análisis estadístico siguiendo la metodología de Witczak, arroja que dos lotes -1372 1381- poseen según dicho criterio un comportamiento pobre a muy pobre.

También se efectuó un análisis de varianza ANOVA, para un intervalo de confianza del 95%, resultando en el último lote que existe una variación significativa entre los testigos de la capa superior e inferior. En este sentido ha sido detectada una mayor dispersión entre valores individuales, pero todos ellos se encuadran dentro de la tolerancia o variabilidad posible que posee la metodología de ensayo [8, 9].

Los registros alcanzados sobre los testigos luego de un año de servicio han sido los siguientes:

Tabla 4

LOTE	Edin Sup		Edin Inf		R <sup>2</sup>	Se/Sy	Criterio	ANOVA
	Promedio	ds St	Promedio	ds St				
1612	5330	381,3	4789	460,2	0,74	0,32	Excelente	No signif.
1614	5115	423,8	5033	331,0	0,80	0,30	Bueno	No signif.

En definitiva a un año de ejecutada la obra, los testigos poseen una rigidez a 20°C muy similar a los determinados originalmente, no habiéndose producido un efecto de endurecimiento del asfalto que afecte la flexibilidad del material en su conjunto. Esta afirmación se corrobora con los valores de Viscosidad Brookfield alcanzados luego de efectuarse su extracción siguiendo la norma indicada en 2.2.

Tabla 5

VISCOSIDAD Brookfield		NORMA IRAM 6837	
Testigo	Temp [°C]	Spindle	Viscosidad [dPas]
471			13013.0
464	60	SC4-29	10925.0
465			12480.0

## CONSIDERACIONES FINALES

- Un estricto control tanto en los procesos de elaboración como de puesta en obra y posterior recepción, disminuye los eventuales fallos no asignables que pudieran aparecer.
- La utilización de mezclas asfálticas empleando Rap con tenores del orden del 15 al 20%, en subbases asfálticas, ha permitido reutilizar dicho material logrando una serie de ventajas comparativas como es la reducción de costos por el menor empleo de materiales vírgenes, disminución del impacto ambiental al verse limitada la intervención en canteras de agregados pétreos.
- Asimismo el alto espesor en 18 cm, en que ha sido colocada la capa inferior, posibilita el acortamiento de los plazos de obra, generando ventajas económicas -visto desde un punto de vista operacional-, al poder habilitarse anticipadamente la vía y también se favorece el ahorro de materiales, equipo y mano de obra (menor intervención). En definitiva se generan ahorros, que favorecen tanto al comitente como al contratista.
- El empleo de rodillos lisos con posibilidad de emplear compactación inteligente oscilatoria, ha sido fundamental para garantizar los resultados alcanzados en el espesor señalado.
- Evaluando el proceso integrador durante la elaboración, puesta en obra y recepción de la mezcla asfáltica y siguiendo en forma estricta el cumplimiento del plan de calidad propuesto, se han obtenido resultados de ensayos que hacen factible el empleo y la colocación de la mezcla asfáltica en elevado espesor. Los buenos resultados obtenidos han sido corroborados a través de la determinación de vacíos y del módulo dinámico resiliente.
- El análisis de los parámetros mecánicos y volumétricos de los nuevos testigos extraídos y ensayados a un año de su ejecución, muestra que el material posee prácticamente las mismas propiedades por la respuesta viscoelástica que brinda al ser sometida a cargas, con lo que se puede afirmar que el proceso de degradación y envejecimiento ligante aún no ha comenzado a manifestarse.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] B.H. Román Cabrera” Compactación Inteligente en Pavimentos Asfálticos: Oportunidades y Retos de Implementación”. XIV Congreso Internacional de Infraestructura Vial - Lima, Perú (2015)
- [2] Multicool. <http://www.eng.auburn.edu/users/timmdav/MultiCool/FinalRelease/Main.html>
- [3] J.M.Baena Rangel, J.García Santiago. “Estudio sobre el efecto de las segregaciones térmicas en la durabilidad de las mezclas bituminosas en caliente”. AEC Revista Carreteras N°155(2007).
- [4] L.Daguerre, D.Larsen, E.Williams, B.Capra, E Mule; F.Nougues, A.Bisio “Compactación Inteligente, curvas de enfriamiento de mezclas asfálticas colocadas en elevado espesor. Caso Práctico”. XVIII CILA. Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Bariloche. 2015
- [5] Norma EN 12697-26, Mezclas bituminosas - Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente – Parte 26: Rigidez.
- [6] Witczak M, .Kaloush K, Mel-Basdyouny, HVonQuintus.”NCHRP Report 465 Simple Performance Test for Superpave Mix Design”. TRB (2001)
- [7] G. Garcia; Marshall Thompson “HMA Dynamic Modulus Predictive Models-A Review”. Research Report FHWA-ICT-07-005 Illinois Center Transportation 2007
- [8] ERav Brown: Kee Y Foo.” Evaluation of variability in resilient modulus test (ASTM