

ANALISIS DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES  
DE UN PAVIMENTO URBANO LUEGO DE 27 AÑOS DE SERVICIO

Dr. Jorge O. Agnusdei

Ing. Duilio D. Massaccesi

SERIE II, N° 209

## INTRODUCCION

En los años 1942-1943 durante la ejecución de los pavimentos de una zona de la ciudad de La Plata, el LEMIT tuvo a su cargo, el contralor de los materiales integrantes de la mezcla asfáltica empleada. Es así que obran en nuestro poder los resultados de los ensayos practicados oportunamente a los citados materiales como así también muestras de los asfaltos empleados para la ejecución de los pavimentos.

Entre las obras ejecutadas en el período indicado, se ha elegido para el presente estudio, una ubicada dentro de la zona urbana de la ciudad sobre la cual no se ha practicado hasta la fecha ningún tipo de mantenimiento -por no haberlo necesitado- conservándose por consiguiente la superficie de rodamiento original.

El diseño del pavimento consistió en una carpeta de rodamiento constituida por una mezcla asfáltica fina, tipo sheet asphalt de 3 cm de espesor, una base negra de 7 cm y una sub-base de macadam hidráulico de 30 cm, todo sobre un lecho de arena procedente del Río de La Plata, de 3 cm de espesor.

La densidad promedio del tránsito en las horas de mayor circulación, fue en la época de su ejecución de 160 vehículos de llantas de hierro (tracción a sangre), 100 autos y vehículos livianos, 18 camiones de menos de 5 tn y 9 camiones de más de 5 tn (1).

Los resultados actuales de censo de tránsito practicado por la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires pueden estimarse en un promedio de 4.900 vehículos diarios discriminados en la siguiente forma : autos y vehículos livianos 80%, omnibus y colectivos 12%, camiones livianos 7%, camiones pesados 1%.

El pavimento en cuestión pertenece a una calle con rambla central y dos trochas laterales, con tránsito localizado a pesar de lo cual el perfil no presenta signos de alteración ya sea por hundimientos o desplazamientos de mezcla por el tránsito, peladuras, etc.

Los signos de deterioro que se observan en la actualidad, consisten en fisuras longitudinales y transversales en diversos sitios que van aumentando en número no habiéndose, hasta el momento, originado baches por pérdida del material de carpeta (figs. 1 a 3).

En términos generales, el pavimento aún se encuentra en condiciones de prestar servicio pese a las fallas aparecidas.

La finalidad principal de este informe es comunicar resultados de ensayos físico-mecánicos practicados en el material de carpeta, poniendo especial atención en el ligante asfáltico por el hecho de contar con las muestras originales con las cuales el pavimento fue construido, y poder analizar el betún más intensivamente mediante técnicas de aplicación actual.

---

#### CARACTERISTICAS ORIGINALES DE LA MEZCLA ASFALTICA DE CARPETA

---

De acuerdo con la información que obra en la publicación del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia, del Día del Camino, 5 de octubre de 1942 (1) la carpeta del pavimento que nos ocupa estaba constituida por una mezcla tipo sheet asphalt cuya dosificación era la siguiente:

Arena del río Paraná	16 %
Arena de trituración (cuarcítica)	63 %
Filler calcáreo	12 %
Asfalto	9 %

Como se dijo anteriormente el Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas tuvo a su cargo durante la ejecución del pavimento, el contralor de la mezcla empleada.

Los resultados de los análisis practicados en el año 1942 revelaban que la granulometría de inertes estuvo prácticamente encuadrada dentro de la zona que se indica a continuación:

Pasa tamiz nº	10	20	30	50	100	200
(%)	90-99	70-81	64-73	45-55	7-25	5-10

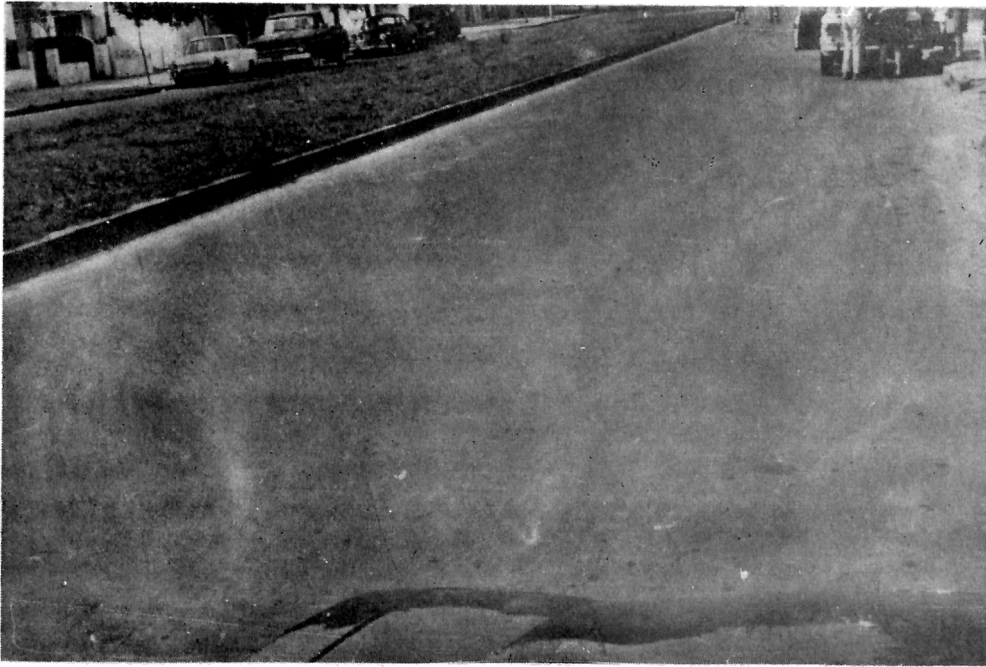


Fig. 1

Vista general del pavimento en estudio

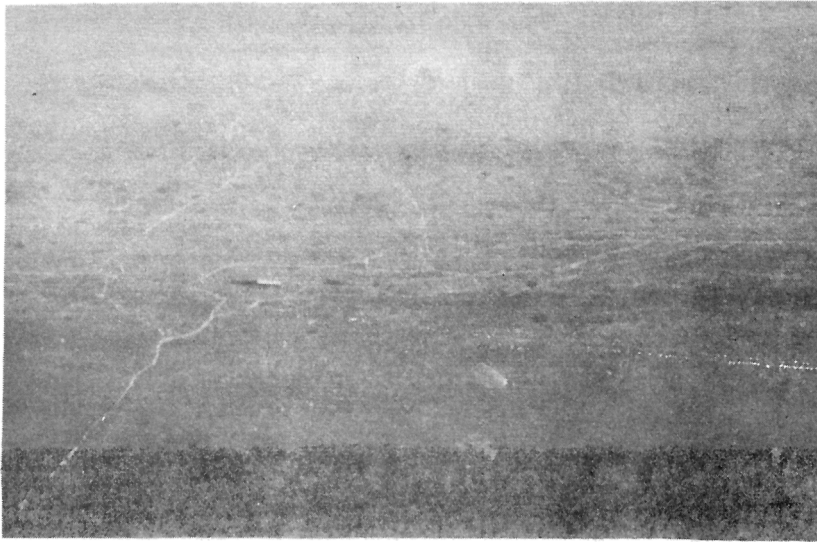


Fig. 2

Fisuras debidas a la contracción de la carpeta asfáltica

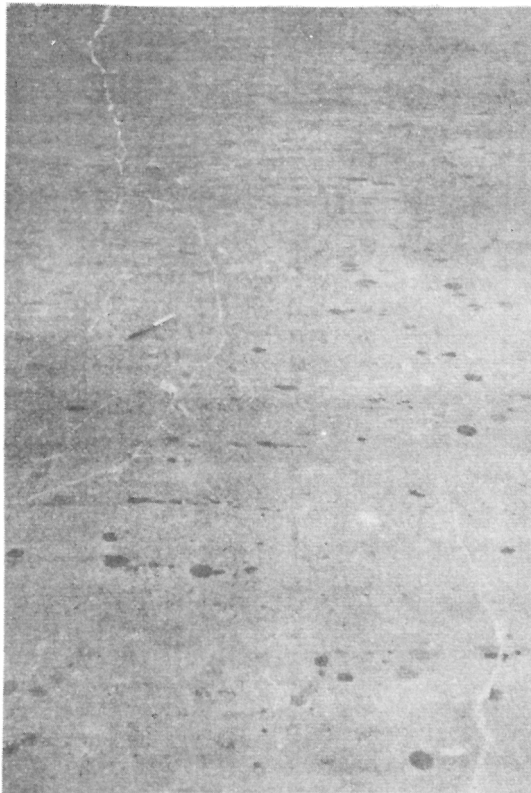


Fig. 3

Fisuras debidas a  
la contracción de  
la carpeta asfál-  
tica

Las características promedio de la carpeta ejecutada arrojaron en el año citado los resultados que da cuenta la tabla I.

TABLA I

Características promedio de la carpeta  
asfáltica ejecutada en el año 1942 - 1943

Espesor medio de la carpeta (cm).....	3,1
Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> ).....	2,26
Vacíos residuales (%).....	4
Estabilidad Hubbard-Field (1h. su- merg. a 60°C) (Lb).....	1430
Betún recuperado (%).....	9,0

---

ENSAYOS REALIZADOS EN LA ACTUALIDAD

---

A los efectos de conocer las características actuales de la capa de rodamiento se extrajeron testigos a razón de seis por cuadra, utilizando una máquina caladora "Calix" y, en determinados casos, cuando se quiso contar con muestras que tuvieran el menor grado de alteración posible, se las extrajo meticulosamente en forma manual. Todas estas operaciones se realizaron en zonas sanas y fisuradas de la calzada.

El primer signo que llamó la atención al extraer las muestras, fue el grado de rigidez que presentaban las mismas y la consistencia vítrea de la mezcla que la tornaban fácilmente quebradiza ante la aplicación de cargas de impacto.

Al efectuar las extracciones, se pudo verificar que el perfil del pavimento respondía exactamente al que según nuestra información se había proyectado en el año 1942.

Asimismo se comprobó que en los lugares deteriorados, las fisuras se extendían solamente a través de la capa de rodamiento sin atravesar la base ni la sub-base, estructuras éstas que se encontraban en perfectas condiciones, y que también fueron analizadas, así como el terreno natural

fig.4

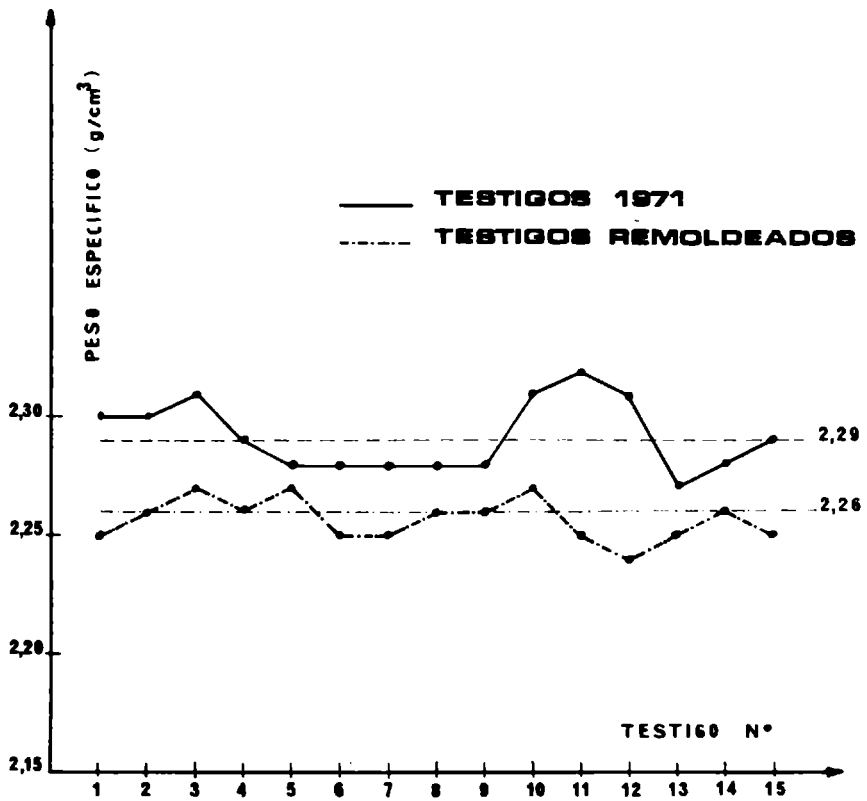
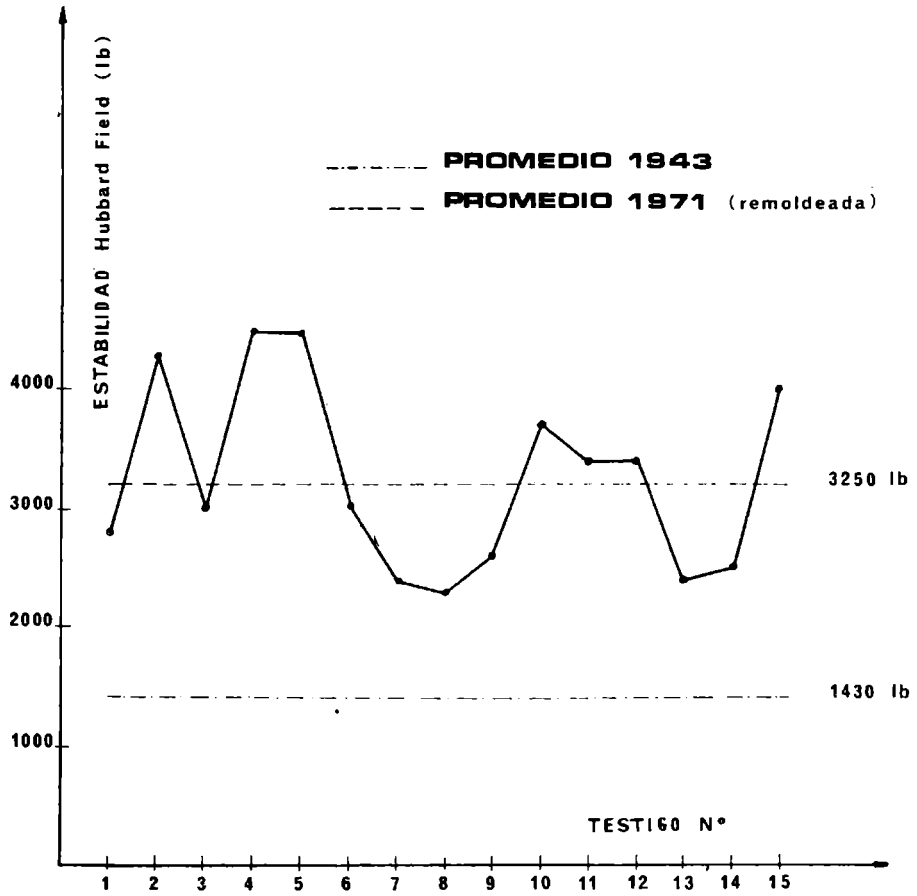


fig.5





sobre el que se apoyaba el pavimento.

La base negra poseía espesores que oscilaron entre los 6,8 y 7,8 cm, con tamaño máximo de agregado de  $3/4$  " y porcentaje de material retenido en el tamiz nº 10 del orden de 80 %. El tenor de asfalto estuvo comprendido entre el 4,2 % y el 4,6 %.

El macadam hidráulico cuyo espesor superó en todos los casos los 30 cm estaba constituido por agregado pétreo granítico, con tamaño entre 5" y 1" formando una estructura perfectamente trabada y recebada, costando trabajo poder destrabar el agregado para efectuar la extracción de muestras, tanto de esta capa como de la inferior. Debajo de un lecho de arena de aproximadamente 3 cm de espesor, nos encontramos con el suelo natural con un valor soporte California que osciló entre el 4 % y el 6 %.

Sobre los testigos de carpeta se practicaron determinaciones de peso específico, contenido de betún, porcentaje de vacíos y granulometría, además se remoldearon con los mismos probetas Hubbard-Field y sobre éstas se determinó peso específico y estabilidad.

Los valores obtenidos son los que se muestran en las tablas II y III y figs. 4 y 5.

De la tabla II se deduce que el peso específico promedio de la carpeta, determinado en la actualidad es de 2,29 g/cm<sup>3</sup>, resultando, los vacíos residuales del orden de 1,3 %. Asimismo el porcentaje promedio de betún asfáltico resulta de 8,6 %.

Comparando estos valores con los que se obtuvieron hace 27 años al ejecutar el pavimento (que son los que se informan en la tabla I) se observan las siguientes variaciones:

La densidad de la carpeta asfáltica ha experimentado un lógico aumento, debido a la acción del tránsito a través del tiempo.

Este incremento no ha sido mayor posiblemente en razón de que se trata de una mezcla friccional dado el elevado porcentaje de arena de trituración y filler calcáreo que posee.

El porcentaje de vacíos disminuyó como consecuencia del aumento de la densidad de la carpeta. En cuanto al contenido de betún, este se encuentra dentro de límites aceptables respecto al valor consignado en la tabla I. En lo que respecta

TABLA II

Determinaciones practicadas sobre testigos del pavimento en estudio.

Testigo nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Peso específico, g/cm <sup>3</sup> .....	2,30	2,30	2,31	2,29	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,31	2,35	2,31	2,27	2,28	2,29
Vacios, % .....	0,4	0,4	1,7	1,3	2,6	1,7	0	1,7	1,3	1,3	0	0	2,3	1,3	1,3
Betún recuperado % .....	8,8	8,8	7,7	8,4	7,9	8,4	9,7	8,7	8,9	8,2	8,5	9,9	8,7	8,9	7,5
Granulometría %															
Pasa tamiz nº 10	92,3	90,6	89,0	91,6	95,6	92,6	88,8	97,9	90,9	91,5	95,6	90,0	97,2	87,2	89,9
Pasa tamiz nº 20	79,0	74,8	68,7	76,5	80,4	76,9	74,6	83,5	78,3	78,2	82,2	70,2	84,4	74,0	67,7
Pasa tamiz nº 30	74,0	66,8	63,6	69,3	74,6	70,1	70,2	78,0	73,3	73,2	76,3	64,6	79,0	68,9	63,7
Pasa tamiz nº 50	57,2	62,9	48,0	48,7	58,0	53,9	54,6	61,6	55,0	56,9	55,5	49,0	60,8	50,4	45,1
Pasa tamiz nº 100	29,6	25,1	23,3	22,0	30,9	27,1	27,8	30,0	26,0	30,4	24,4	20,8	26,8	21,5	21,2
Pasa tamiz nº 200	16,4	12,2	12,2	11,4	14,6	14,1	12,9	17,0	13,3	17,0	11,1	10,6	14,2	10,8	10,0

TABLA III  
Ensayos sobre probetas Hubbard-Field remodeladas con  
los testigos de la Tabla II

Testigo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	2,25	2,26	2,27	2,26	2,27	2,25	2,26	2,26	2,26	2,27	2,25	2,24	2,25	2,26	2,25
Estabilidad Hu- bbard-Field (1h sum. a 60°C (1h)	2800	4300	3000	4500	4400	3050	2400	2300	2600	3750	3400	3400	2400	2450	4000

a la granulometría de inertes, se observa que se ha producido con el tiempo y el tránsito una sensible degradación que se hace más notoria en las fracciones finas.

De la tabla III se deduce que el valor promedio del peso específico de las probetas Hubbard-Field remoldeadas con los testigos, es de 2,26 g/cm<sup>3</sup>, valor que coincide con la densidad de la carpeta en el momento de su ejecución.

En cuanto a la estabilidad Hubbard-Field, el resultado promedio de las probetas remoldeadas es de 3250 libras, valor este que duplica al que poseía la mezcla al construirse el pavimento.

Dado que al extraer los testigos del pavimento se verificó que las fisuras atravesaban solamente la capa de rodamiento, estando la base y sub-base en perfectas condiciones, y que los valores de estabilidad Hubbard-Field que se obtuvieron en los testigos remoldeados habían sufrido un aumento notable respecto al original, se extrajo como primera conclusión, que era muy probable que las anomalías observadas en la carpeta se debieran al cambio de características con el tiempo del asfalto componente de la mezcla. Por ello se trató de estudiar un aspecto, el ligante, más profundamente, mediante nuevas técnicas de ensayos, y en esa forma poder compararlo con los asfaltos originales, cuyas muestras, como se dijo al comienzo del informe obran en el L.E.M.I.T.

Ante todo, se quiso confirmar si estos asfaltos originales no habían sufrido otra alteración que el envejecimiento debido al hecho de permanecer almacenados en recipientes cerrados durante largo tiempo.

Entendemos por envejecimiento al aumento de viscosidad con el correr del tiempo. Este aumento de viscosidad es producido principalmente por la formación de una estructura interna (tixotropía) a causa de variaciones en las condiciones de equilibrio del sistema asfaltenos - resinas - maltenos. Este es un proceso reversible dado que por la aplicación de calor o de esfuerzos adecuados se puede restablecer la viscosidad original del asfalto.

Es posible que además de este proceso también tengan lugar los de oxidación y los de polimerización, pero dado el volumen de la muestra de asfalto, y el hecho de haber estado estas debidamente acondicionadas, las magnitudes de estas

TABLA IV

Características de los asfaltos determinados en el año 1942 y las actuales luego de su refusión

ASFALTO	A		B		C		D	
	1942	Actual	1942	Actual	1942	Actual	1942	Actual
Penetración a 25°C (100 g 5 seg)	63	68	70	75	77	76	60	66
Ductilidad a 25°C (cm)	28	30	45	47	41	40	36	42
Punto de ablandamiento (A y E) °C	58,6	55,4	54,4	54,7	54,0	55,4	56,0	56,0
Ollensis	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

procesos se tornan despreciables.

Para tratar de confirmar el grado de alteración sufrido por los asfaltos, se procedió a refundirlos calentándolos durante 30 minutos a 160°C en estufa y a ensayarlos nuevamente para comparar sus características, con las que poseían estos mismos asfaltos en su origen, es decir hace 27 años.

En la tabla IV se dan los resultados obtenidos de los ensayos comparativos de penetración, ductilidad, punto de ablandamiento y oliensis, ya que estos son los únicos datos que se disponen del año 1942.

Los valores de la tabla IV nos muestran que las características de los asfaltos luego de la refusión actual son coincidentes con las obtenidas en el momento de ejecutarse el pavimento. De esta manera ponemos en evidencia que el envejecimiento producido por formación de estructura interna, es eliminado por el calentamiento. Conclusión similar fue alcanzada por Franchi y Sucherinó (2) al realizar ensayos sobre asfaltos mantenidos durante 1 año en recipiente cerrado.

Nosotros hemos visto en cierto modo corroborado lo antedicho, por el hecho de haber obtenido sobre mezclas preparadas actualmente con los asfaltos originales, y los mismos inertes recuperados de los testigos, resultados prácticamente idénticos a los que presentaba la mezcla en los ensayos realizados en el año 1942-1943, que son los que se indican en la tabla I.

El grado de fillerización alcanzado a través del tiempo debido a la degradación de los agregados, hace que las mezclas preparadas como se dijo en el párrafo anterior, presenten un valor promedio de estabilidad Hubbard-Field de 1740 lb, que comparado con las 1430 lb que acusaba la mezcla en el inicio de la obra, indica que el aumento de la fracción fina afecta en poco grado la estabilidad, no siendo por lo tanto ésta la causa fundamental de los elevados valores que presentan los testigos remoldeados. De acuerdo a esto la influencia fundamental en las variaciones de las características de la mezcla actual del pavimento, frente a las que poseía en su origen, podrían ser atribuidas al ligante asfáltico.

De esta manera estamos en condiciones de profundizar el estudio de estos asfaltos mediante nuevas técnicas de ensayos



que nos permitan conocer otras características no reveladas por las determinaciones corrientes.

En la tabla V se incluye un análisis más completo de los asfaltos originales (OR) junto con los mismos asfaltos envejecidos (EN) durante 75 minutos a 163°C mediante la técnica de la película fina rotativa (rolling thin film test). Esta técnica provee resultados similares al de pérdida por calentamiento en película delgada durante 5 hs. a 163°C (IRAM - ASTM). Como se sabe, este ensayo reproduce las alteraciones que sufre un asfalto durante el proceso de mezclado en usina.

En esta tabla se observa que las muestras ensayadas presentan características similares a la de los asfaltos de Comodoro Rivadavia, al comparar los datos obtenidos con los comunicados en otros trabajos (3) (4).

Es evidente que los asfaltos de la tabla V no cumplen con las especificaciones de Vialidad Nacional e IRAM en lo que respecta a peso específico, ductilidad, e índice de penetración de Pfeiffer.

Si bien los valores de la tabla IV indican que los asfaltos conservados durante 27 años al ser refundidos presentan nuevamente las características originales, es posible que los mismos hayan incrementado algo su consistencia dado los elevados valores de viscosidad a 25 y 60°C que se obtienen al refundirlos, factor este no revelado por los ensayos de penetración y ductilidad.

Los valores de viscosidad ya sea sobre los asfaltos originales como sobre los envejecidos en laboratorio, son mucho más grandes que los que presentan, para el mismo rango de penetración, la mayoría de los asfaltos que se emplean en la actualidad.

En cuanto a los asfaltos recuperados de los testigos de carpeta, mediante el método de Abson, algunas características de los mismos se muestran en la tabla VI, donde se han tomado los valores correspondientes a cuatro testigos provenientes de las cuadras ejecutadas con los asfaltos A, C y D, respectivamente.

En la tabla VII se presentan comparativamente los valores promedio de viscosidad a 25°C, medidos a una velocidad de fluir de  $5 \times 10^{-2} \text{ seg}^{-1}$ , mediante el microviscosímetro de





placas deslizantes, de los asfaltos recuperados del pavimento frente a los que poseían los asfaltos originales y los envejecidos en laboratorio durante 75 minutos a 163°C. Es de hacer notar que dada la elevada consistencia de los asfaltos recuperados, no pudo realizarse la determinación de viscosidad a 60°C, pues los mismos estaban fuera del rango de medida de las pipetas viscosimétricas que se disponen.

TABLA VII  
COMPARACION ENTRE LA VISCOSIDAD DE LOS  
ASFALTOS ORIGINALES Y RECUPERADOS DEL PAVIMENTO

	Viscosidad a 25°C, $5 \times 10^{-2}$ seg <sup>-1</sup> Megapoises.		
	A	C	D
Original.....	5,16	5,56	5,80
75 min. a 163°C.	8,90	8,44	7,76
Recuperado del pavimento.....	45	40	40

Del análisis de las tablas VI y VII se ve que los asfaltos recuperados presentan un alto grado de alteración a pesar de que en todos, el ensayo de Oliensis sigue siendo negativo. Los valores de penetración oscilan entre 20 y 37 con un valor medio de 29. El punto de ablandamiento fluctúa entre 80 y 102°C siendo la media 86°C. Finalmente, los valores de ductilidad, son sumamente bajos y parejos con un valor medio de 7 cm.

Hasta el presente la mayoría de las correlaciones realizadas sobre el cambio de consistencia o envejecimiento de los asfaltos con el comportamiento en servicio, se basan en medidas de penetración, ductilidad y punto de ablandamiento. Finn (5) en un trabajo sobre durabilidad de superficies asfálticas presenta un resumen de valores obtenidos por distintos autores que se consideran críticos para el comportamiento de un pavimento asfáltico. En general hay concordancia que un pavimento está al límite de servicio cuando sobre el asfalto recuperado la penetración a 25°C es menor de 20, la ductilidad a 25°C es menor de 15 y el punto de ablandamiento es mayor de 67°C.

TABLA VIII

Valores medios de características de los asfaltos originales, envejecidos y recuperados del pavimento

ENSAYO	ASFALTO	Original	75 min. a 163°C	Recuperado	Valores críticos.
Penetración a 25°C (100 g - 5 seg).....		71	51	29	20
Ductilidad a 25°C, cm .....		40	19	7	15
Punto de ablandamiento (A y E), °C.....		55	64	86	67
Viscosidad a 25°C (5 x 10 <sup>-2</sup> seg <sup>-1</sup> ) Me- gapoises .....		5,5	8,4	42	10-100

En el mismo trabajo de Finn se dan valores críticos de viscosidad a 25°C y velocidad de fluir de  $5 \times 10^{-2} \text{seg}^{-1}$  tomados de resultados obtenidos en el proyecto Zaca Wigmore en California. Los valores que se dan están entre 10 y 100 Megapoises.

Los valores que se obtuvieron en nuestro caso oscilaron entre 40 y 45 Megapoises, es decir, dentro de los límites considerados críticos.

En la tabla VIII se presenta un resumen con los valores medios correspondientes a los asfaltos originales y envejecidos en laboratorio durante 75 minutos a 163°C, junto con los obtenidos de los asfaltos recuperados del pavimento luego de 27 años en servicio. En la última columna del mismo cuadro se muestran los valores medios que se consideran críticos para valorar el comportamiento de un pavimento, tal cual se dijo más arriba.

---

## CONCLUSIONES

---

Del estudio realizado pueden emitirse los siguientes juicios a manera de conclusión:

- 1) El pavimento que nos ocupa cumplió sus funciones sin ningún inconveniente durante más de 27 años.
- 2) Dado el buen estado en que fueron encontradas las estructuras de base y sub-base, se adjudicaron las fallas por fisuramiento observadas en la carpeta en los últimos años al envejecimiento sufrido por el asfalto.
- 3) En primera instancia este proceso quedó detectado por el extraordinario incremento de estabilidad Hubbard-Field que arrojaron los testigos remoldeados, frente a las características originales de la mezcla.
- 4) Los asfaltos recuperados de estos testigos presentan un alto grado de alteración dado los bajos valores de penetración y ductilidad, y lo elevado del punto de ablandamiento y viscosidad a 25°C, lo que indica que la carpeta en estudio estaría en el límite de su servicio pues estos valores coinciden con los que se consideran críticos.

Estos resultados están en concordancia con las fallas observadas.

- 5) Los asfaltos originales (conservados) con los cuales fue construída la carpeta, presentan bajos valores de ductilidad y peso específico y alto índice de penetración (características similares a los de Comodoro Rivadavia). Estos asfaltos no hubieran cumplido con las especificaciones actuales. Además los valores de viscosidad que arrojan son mucho más elevados que los que se obtienen con la mayoría de los asfaltos que se emplean en la actualidad para el mismo rango de penetración.
- 6) Pese al grado de alteración alcanzado por los asfaltos de la carpeta a través de 27, años puede considerarse que el comportamiento de la misma ha sido aceptable, pudiendo haber colaborado en esta circunstancia el buen comportamiento de las estructuras inferiores y el tipo de mezcla fina empleada, con un alto contenido de asfalto. Tal vez asfaltos de características similares, empleados en otro tipo de mezcla y estructura hubieran tenido un comportamiento diferente.

---

#### BIBLIOGRAFIA

---

1. Publicación "Día del Camino", pag. 395, octubre 1942.
2. Franchi, E. y Zucherino, D.-Primera Reunión Anual del Asfalto, 165-174, 1946.
3. Castellano, E. y Galli, J.-Primera Reunión Anual del Asfalto, 175-204, 1946.
4. Pinilla, A., Agnusdei, J.O. y Frezzini, P.-XVIII Reunión Anual del Asfalto, Mendoza, 1971.
5. Finn, F.-Highway Research Board, report 39, 1967.