
ESTUDIO DE DURABILIDAD DE ASFALTOS DE USO VIAL
POR ENSAYO DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO

Dr. Alfredo Pinilla
Dr. Jorge O. Agnusdei
Lic. Antonio Reynaldi

Serie II, n° 133

Primera parte:

ESTUDIO DEL METODO DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO

CONSIDERACIONES GENERALES

Al pretender estudiar las causas que afectan el comportamiento de una mezcla asfáltica de tipo superior preparada y colocada en caliente, se encuentra que el problema no es de fácil solución.

Nuestra experiencia y la información de investigadores extranjeros, indica, que en las estructuras bituminosas normales de tipo superior como concreto asfáltico, "sheet asphalt" o mezclas densas compactadas tipo B.S. 594, el tiempo de vida útil para tránsito mediano puede estimarse como valor medio unos veinte años (1) siendo, como es sabido, menor para mezclas en frío.

La durabilidad de las mezclas asfálticas es un problema complejo que debe ser estudiado en conjunto, vinculando los componentes de las mismas y dentro de éstos, la durabilidad intrínseca del betún, entendiéndose por tal, la permanencia de las propiedades cohesivas del ligante asfáltico y su correlación con el tiempo de vida útil de la estructura. Dentro de este planteo, la durabilidad está vinculada a factores que dependen del betún, como las propiedades reológicas y su durabilidad intrínseca y a factores que dependen del sistema agregado-betún, como los vacíos y la adhesión en presencia del agua.

La durabilidad del betún en sí, como el adhesivo de la mezcla, es decir, la permanencia de sus propiedades, es un problema que ha sido estudiado por numerosos autores (3, 4, 5, 6, 7), pero queda aún mucho que investigar para tener elementos de juicio que permitan determinar por qué razón asfaltos de igual consistencia, proceso de elaboración y similares características, se comportan en servicio en forma diferente.

Dentro de los estudios y métodos de laboratorio con correlación con las condiciones de mezclado en caliente en usina, debe destacarse el realizado hace muchos años por el Bureau of Public Roads de EE.UU. (8), empleado en el LEMIT desde 1942 e introducido en la norma IRAM (9) en 1956, como ensayo de pérdida por calentamiento en película delgada. Consiste en calentar 50 g de asfalto a 163 C durante 5 horas en un espesor de 3 mm, determinando las variaciones de peso y de consistencia del material, por el ensayo de penetración antes y después del calentamiento.

Distintos autores (10) y (11) estiman que existe una adecuada coincidencia entre las consistencias del material ensayado por este método y el recuperado de pastones preparados en usina; por lo cual dicha técnica es aceptada considerando que el asfalto envejecido de acuerdo a ella, tiene similares características al que ha sido calentado en usina.

En un trabajo presentado por Hveem, Zube y Skog (12) en 1963, estos autores proponen un método que está tomando rápido desarrollo en los EE.UU., que ha sido comentado por especialistas como Dormon (13) y ha determinado numerosos trabajos de investigación, tales como los de Kari y Gordon, Schmidt (14) (15) y otros.

Esta técnica nació como una necesidad de conocer las características del material asfáltico en el momento de su aplicación en obra, especialmente durante la compactación, operación de gran importancia para la vida útil de la estructura. Por ello es de primordial importancia conocer la consistencia del asfalto, como mínimo, en cuatro condiciones y niveles de temperatura:

- a) En la mezcladora de usina (125-170 C).
- b) Durante la compactación (75-110 C), para alcanzar la densidad esperada.
- c) En servicio, entre 35 y 60 C, en que el tránsito desarrolla su compactación final.
- d) La consistencia a bajas temperaturas que se vincula al comportamiento frente a esfuerzos dinámicos a corto tiempo de aplicación de las cargas (16).

El propósito de esta primera parte del trabajo ha sido dar a conocer los resultados obtenidos empleando el dispositivo y la técnica de Hveem y colaboradores, con asfaltos provenientes de petróleos nacionales y extranjeros procesados en el país, comparando los resultados obtenidos con los que se logran con el método A.S.T.M. D-1754 desarrollado por el Bureau of Publics Roads (Lewis), o sea el método de pérdida por calentamiento de 5 horas a 163 C en espesor de 3 mm (17).

Además se han realizado otros ensayos de calentamiento prolongado a mayores tiempos, destinados a establecer posibles vinculaciones entre durabilidad en servicio y ensayos de laboratorio empleando esta técnica, con el fin de corroborar reciente información aparecida en la bibliografía que correlaciona este ensayo con el tiempo de vida útil (14).

MATERIALES Y TECNICAS DE ENSAYO EMPLEADAS

Materiales

Los asfaltos estudiados reunían las características que se muestran en Tabla I, ensayados por los métodos A.S.T.M., I.R.A.M. y L.E.M.I.T.

Los asfaltos D, E y F provienen de petróleos crudos de Nigeria, Irak e Irán. El G es proveniente de Medanitos de la zona sur del país y los identificados como A, B, C, H, I y J, provienen de petróleos crudos procesados en nuestro país, pero que no ha sido posible identificar su origen.

Técnicas de ensayo

- a) Método de pérdida en película fina del Bureau of Public Roads.

Este método ha sido descrito en otras publicaciones del LEMIT desde 1946 y su técnica está incluida en la norma IRAM que rige desde 1956 y en la norma ASTM D-1754.

b) Método de pérdida en película rotativa fina.

Este método fué propuesto por Hveem, Zube y Skog en 1963 (19). Consiste en calentar a 163 C en una estufa, ocho recipientes de vidrio de forma cilíndrica normalizados conteniendo 35 g de asfalto. Dichos recipientes se colocan horizontalmente sobre un dispositivo consistente en un disco que gira a razón de 15 r.p.m. y que está dispuesto en la pared posterior de la estufa.

Durante su rotación, los frascos reciben en forma permanente un fino chorro de aire seco y caliente, que se inyecta por medio de un tubo de cobre de 5/16", de modo que el caudal sea de 4 l/min.

El aire se seca previamente en un dispositivo con cloruro de calcio anhidro y luego de calentarse, se inyecta de modo que el chorro de aire pase por el centro de los recipientes que contienen asfalto. Cuando se han pesado los tubos con el asfalto, se disponen en la estufa; se ajusta la temperatura del horno a 163 C (325 F) y la corriente de aire a una presión de 15 libras/pulg² y un caudal de 4 l/min, manteniéndose por un período de 1 hora y 15 minutos, previa puesta en marcha del motor.

Transcurridos los 75 minutos se sacan los tubos, se dejan enfriar, se pesan al 0,01 g para calcular la pérdida y con el material, se realizan los ensayos de penetración, viscosidad u otros que se consideren convenientes.

En nuestro caso, se realizaron los ensayos de penetración a 25 C (IRAM y ASTM) y de viscosidad dinámica a 60 C empleando la pipeta viscosimétrica del Instituto del Asfalto de EE.UU., según se describió en

otros trabajos de los autores (20).

A su vez, se cambiaron los tiempos de calentamiento incrementándolos al doble y al triple de los recomendados por las técnicas respectivas, a los efectos de observar si existía correlación entre la consistencia de los residuos después del calentamiento entre los dos métodos estudiados.

En la Fig 1 se observa la estufa y los tubos contruidos en el LEMIT con planos suministrados por la California Division of Highways, Sacramento, U.S.A.

La viscosidad a 60 C del asfalto envejecido representa pues la consistencia a la máxima temperatura del camino e inmediatamente de haber sido librado al tránsito y tiene gran importancia en la estabilidad, fluencia, etc., así como en la capacidad de deformación de la mezcla a altas temperaturas y con cargas estáticas.

VALORES EXPERIMENTALES

Sobre las muestras de asfalto ya mencionadas se realizaron ensayos comparativos entre las características del residuo obtenido en el ensayo de película delgada (3 mm) y el del film rotativo desarrollado por Hveem.

Los tiempos de calentamiento del primer método son cinco horas y del segundo, 75 minutos; los valores experimentales se indican en la Tabla II en la que en el primer método se ha extendido el tiempo de calentamiento a 10 y 15 horas y en el método de Hveem a 150 y 300 minutos.

Del estudio de la Tabla II se concluye que comparando las consistencias medidas por el ensayo de penetración a 25 C en el rango de consistencias 41-93, los valores de penetración del residuo del calentamiento de 5 horas a 163 C y el del film fino rotativo (75 minutos), no difieren en más

TABLA I

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES ESTUDIADOS

Identificación	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Peso específico a 25 C.....	1,012	1,008	1,030	0,999	1,021	1,022	1,004	1,010	1,015	1,015
Penetración a 25 C (100g-5seg)...	43	39	57	58	93	92	90	165	213	168
Ductilidad a 25 C, cm.....	+ 150	+ 150	+ 150	+ 150	+ 150	+ 150	+ 150	+ 150	+ 150	+ 150
Punto de ablandamiento (A y E), C.	53,6	53,5	50,0	47,8	45,8	46,0	47,2	39,8	37,0	41,0
Indice de penetración (Pfeiffer).	-1,0	-0,9	-0,9	-1,3	-0,8	-0,8	-0,8	-1,0	-1,2	-1,0
Viscosidad a 60 C, poises (*)....	9.930	7.025	3.700	1.558	1.627	1.520	2.170	860	750	948
Pérdida en película fina, 5 horas a 163 C, %.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,3
Penetración después de pérdida a 25 C (100 g - 5 seg).....	32	35	43	41	76	62	66	101	116	117
Solubilidad en S ₂ C, %.....	+99,5	+99,5	+99,5	+99,5	+99,5	+99,5	+99,5	+99,5	+99,5	+99,5
Ensayo de Oliensis.....	Negativo									
Viscosidad a 135 C, S. Furol, seg	528	429	209	---	183	162	186	128	118	132

(*) Método del viscosímetro capilar para 30 cm de columna de mercurio.

TABLA II

CAMBIO DE LA PENETRACION A 25 C. (100 g., 5 seg.)

BETUN	Penetración a 25 C original	Ensayo de pérdida en película de 3 mm (163 C)						Ensayo de la película fina rotativa (163 C)					
		5 horas		10 horas		15 horas		75 minutos		150 minutos		300 minutos	
		Penetr. Retenida	Penetr. Retenida	Penetr. Retenida	Penetr. Retenida	Penetr. Retenida	Penetr. Retenida	Penetr. Retenida	Penetr. Retenida	Penetr. Retenida	Penetr. Retenida	Penetr. Retenida	
A	41	32	78	26	63	24	58	30	73	26	63	20	48
B	39	35	89	31	79	29	74	37	95	31	79	23	59
C	57	43	75	35	61	26	46	42	74	28	49	20	35
D	58	41	71	38	66	33	57	44	76	38	66	28	48
E	93	76	82	59	63	52	56	58	62	49	53	40	43
F	92	62	67	49	53	33	36	59	64	48	52	33	36
G	90	66	73	52	58	46	51	63	70	44	49	35	39
H	165	101	61	88	53	64	39	102	62	69	42	50	30
I	213	116	54	91	43	80	38	108	50	74	35	53	25
J	168	117	70	85	51	71	42	105	63	69	41	54	32

de 3 unidades de penetración (con excepción de la muestra E), lo cual está bien cerca del error admitido por ASTM para ese ensayo.

Para tiempos de calentamiento de 10 y 15 horas (método de película 3 mm); en la penetración del residuo no hay concordancia con el método de la película fina rotativa.

Obsérvase por comparación que los betunes A y B de similar penetración a 25 C (Tabla III) tienen muy distinta viscosidad a 60 C. Ocurre lo mismo con el C y el D; los E y F con el G, siendo sus diferencias en viscosidad hasta de un 30%, lo cual corrobora lo expresado en trabajos anteriores el valor relativo del ensayo de penetración a 25 C como medida de consistencia.

El residuo de la pérdida en film de 3 mm (5 horas) es, en la mayoría de los casos estudiados, menos consistente que el obtenido por el proceso de pérdida en película rotativa a 75 minutos. Para estos tiempos se percibe aceptable concordancia (dentro del 15%) entre los resultados de los ensayos en las condiciones mencionadas para los betunes D, E, F, G, H, J. Una dispersión algo mayor se tiene para los betunes C e I.

Para tiempos de 10 horas y 150 minutos (en cada método), se observa también mayor consistencia para los residuos obtenidos por el método de Hveem; las concordancias ya no son tan buenas salvo para el betún D, cuyo envejecimiento en ese período es igual para los dos residuos. Otros en cambio, duplican su consistencia tal como los betunes H e I, lo cual estaría indicando que el betún D es el que tiene menos tendencia a incrementar su consistencia por calentamiento bajo esas condiciones.

Para tiempos de 15 horas y 300 minutos (según el método), se percibe un muy importante incremento de viscosidad para los residuos obtenidos del método de la película fina rotativa que hace que esos valores no tengan coincidencia con los obtenidos por el método de pérdida en film de 3 mm en el tiempo de 15 horas a 163 C.

En la Fig 3 se observa la relación entre la pene-

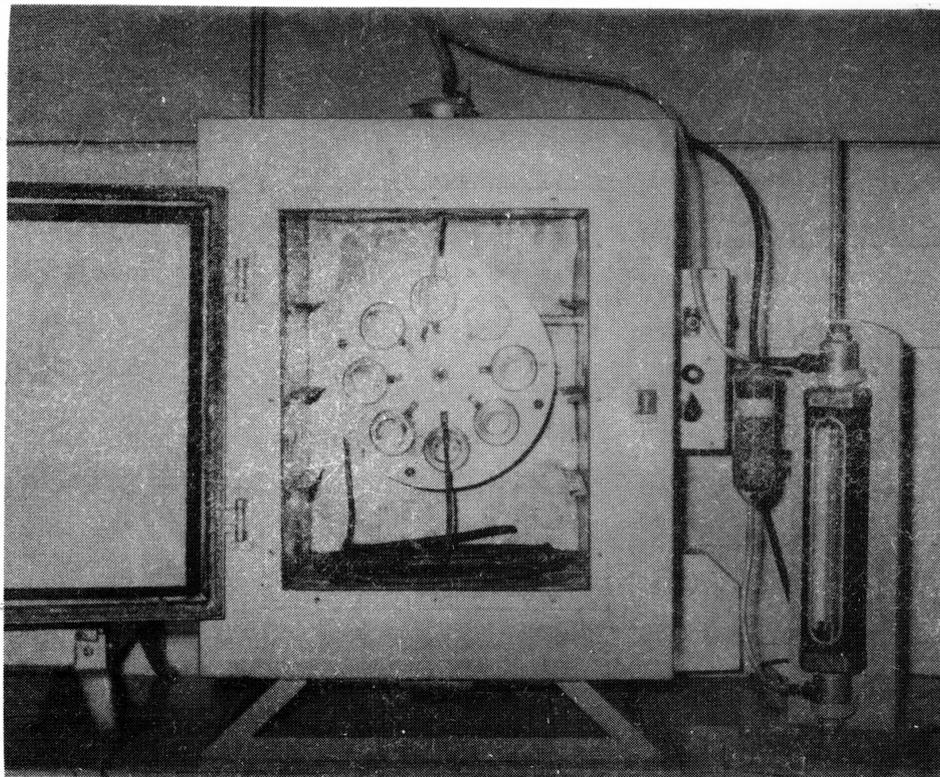


Fig. 1
Estufa para el ensayo de envejecimiento
acelerado (Rolling Film Test)

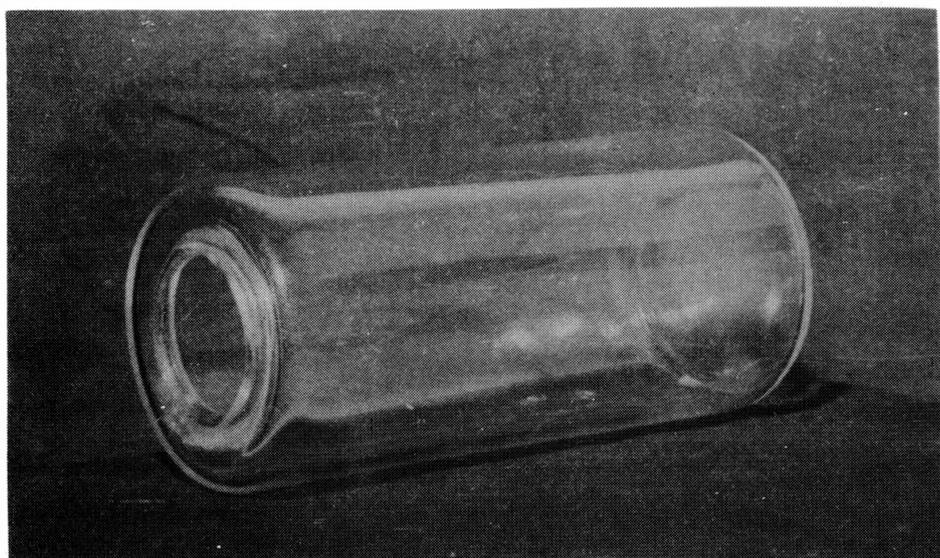


Fig. 2
Vaso para el ensayo de película fina
rotativa (Rolling Film Test)

tracción de los residuos a 25 C de los asfaltos sometidos a los ensayos de pérdida en película de 3 mm y de pérdida con película rotativa, y en Fig 4, la viscosidad dinámica a 60 C expresada en Poises observándose aceptable concordancia.

Para los betunes de penetración 50-60, caso de los betunes C y D, especialmente el primero incrementa en tal forma su viscosidad que endurece más que el B que originariamente es más duro; en cambio el D (penetración 58), da un residuo menos viscoso a 300 minutos que el betún G (penetración 90). A su vez los betunes D, E y F, de penetración 58, 93 y 92 respectivamente, producen residuos mucho menos viscosos que el betún blando I, cuya penetración es la más elevada de las consideradas en este estudio.

En las Fig 5 y 6, en escala semilogarítmica se muestra el incremento de viscosidad en función del tiempo de algunos de los asfaltos estudiados.

Es muy interesante, con los valores ya mencionados, calcular el índice de envejecimiento de los asfaltos (Tabla IV), entendiéndose por tal la relación entre la viscosidad a 60 C del material envejecido según la técnica empleada y la viscosidad del material original a la misma temperatura que resulta una medida del grado de cambio. Este índice es usado en varias especificaciones extranjeras como criterio de calidad y resistencia al envejecimiento pero realizando el ensayo a 25 C.

TABLA III

VARIACION DE LA VISCOSIDAD DE LOS ASFALTOS CON EL ENVEJECIMIENTO

		Viscosidad a 60 C, Poises					
BETUN	Original	Ensayo de pérdida en film, 163 C, 3 mm			Ensayo de la película rotativa, 163 C		
		5 horas	10 horas	15 horas	7.5 min	150 min	300 min
A	9931	17343	30950	39985	23464	42100	151000
B	7025	10500	14100	23700	12750	18600	59800
C	3700	900	11600	26200	9700	52400	92400
D	1558	2926	3642	4474	2817	3930	10700
E	1627	2239	2971	3747	2300	4300	6180
F	1520	2454	2990	5051	3050	4066	7860
G	2170	3192	4662	6194	3118	6500	12860
H	860	1850	2400	6400	1835	4900	19800
I	752	1587	2390	3967	1870	5055	13900
J	948	1930	3108	5289	2170	5315	8315

TABLA IV

INDICE DE ENVEJECIMIENTO

Temperatura: 60 C

I.E. = $\frac{\text{Viscosidad del material envejecido}}{\text{Viscosidad del material original}}$

BETUN	I.E. calculado según método pérdida 3 mm, a 163 C			I.E. calculado según (película fina rotativa)		
	5 horas	10 horas	15 horas	75 min	150 min	300 min
A	1,7	3,1	4,0	2,3	4,2	15,2
B	1,5	2,0	3,4	1,8	2,6	8,5
C	2,1	3,1	7,1	2,6	14,1	24,9
D	1,8	2,3	2,9	1,8	2,5	6,9
E	1,4	1,8	2,2	1,4	2,6	3,8
F	1,6	2,0	3,3	2,0	2,7	5,2
G	1,5	2,1	2,9	1,5	2,9	5,9
H	2,2	2,8	7,4	2,2	5,7	23,0
I	2,1	3,2	5,3	2,5	6,7	18,6
J	2,0	3,3	5,6	2,3	5,6	8,8

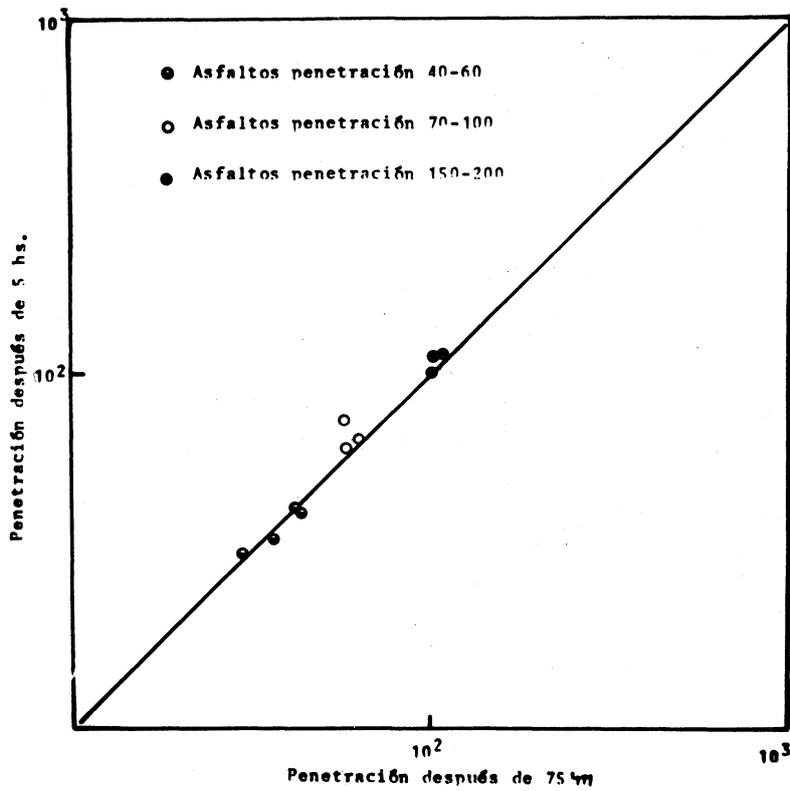
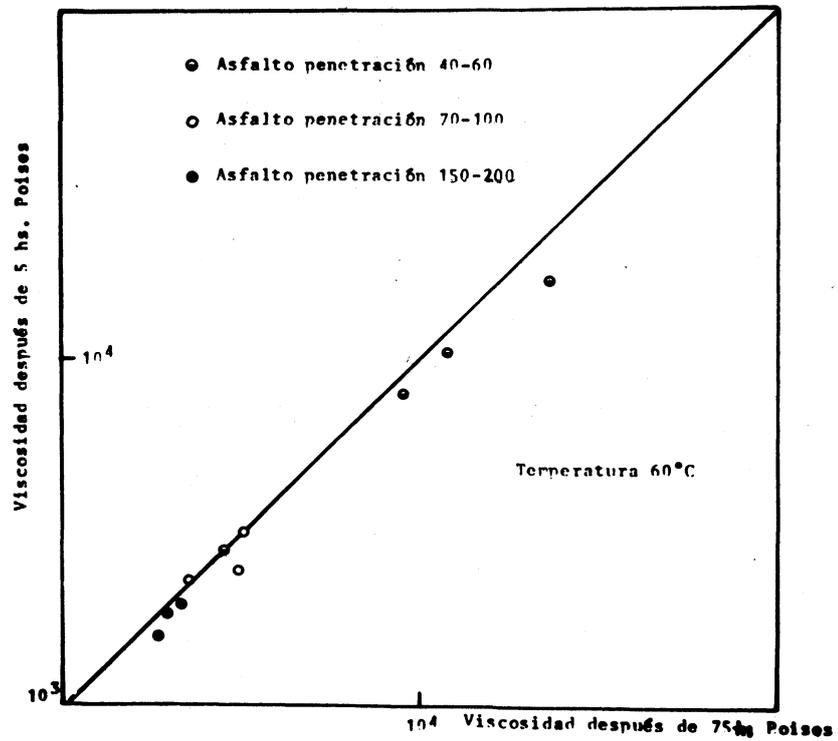


Fig. 3

Fig. 4



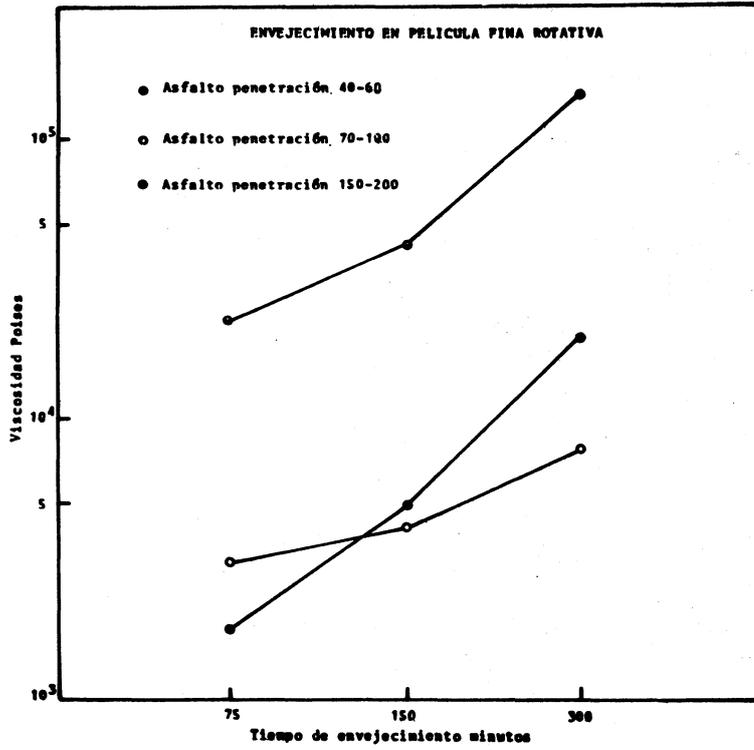
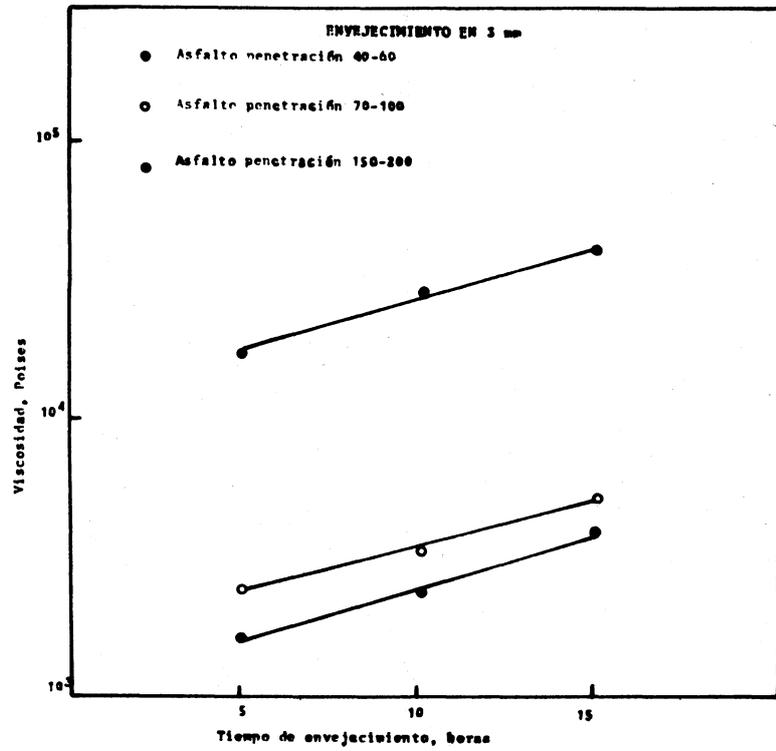


Fig. 5

Fig. 6



Segunda parte:

COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE LOS ASFALTOS SOMETIDOS
A ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO

PUNTO DE FRACTURA SEGUN FRAASS

Las fallas que se presentan en estructuras bituminosas tales como desintegración y fisuras, en general se producen a bajas temperaturas como consecuencia de la oxidación debida a los agentes atmosféricos. El punto de fractura Fraass (21), es la temperatura a la cual el asfalto se torna quebradizo, lo cual se pone de manifiesto por la aparición de fisuras, cuando una película de betún de 0,5 mm de espesor, colocada sobre una placa de metal es enfriada y flexionada en condiciones normalizadas. (figuras 7 y 8)

El incremento en el valor del punto de fractura para un betún luego de ser sometido a ensayos de envejecimiento, puede dar una indicación del probable comportamiento del mismo en una estructura. La determinación del punto de fractura está normalizada por el Instituto del Petróleo de Inglaterra bajo la denominación I.P. 80/53 (22) y por la norma DIN 1995-46 (23).

Rigden y Lee (24) hacen un estudio matemático de las condiciones del ensayo para breas, llegando a establecer en una primera aproximación, que la temperatura del punto de fractura Fraass es una temperatura de equiviscosidad, correspondiendo a una viscosidad de 4×10^9 poises. Van der Poel (25) ha mostrado que el punto de fractura es la temperatura a la cual el Stiffness del betún es aproximadamente igual a 10^9 dinas/cm² (10^3 Kg/cm²) para un tiempo de aplicación de la carga de 11 seg.

Este resultado está en completo acuerdo con el obtenido por Rigden, teniendo en cuenta que

$$S = \frac{3 \cdot H}{t}$$

donde S = Stiffness: dinas/cm²

μ = Viscosidad: poises

t = Tiempo de aplicación de la carga: seg

MICROVISCOSIMETRO DE PLACAS DESLIZANTES (18)

Cuando se aplica un esfuerzo de corte a un líquido, el mismo produce una cierta velocidad de fluir en el mismo. En un líquido ideal la constante que relaciona la velocidad de fluir con el esfuerzo de corte es la viscosidad, de acuerdo con la ecuación de Newton. En general, asfaltos obtenidos por reducción directa mediante vapor y vacío se comportan casi como líquidos Newtonianos.

Si graficamos los valores de viscosidad frente a la velocidad de fluir, vemos que la viscosidad decrece al aumentar la velocidad de fluir. La pendiente de esta curva se la ha denominado índice de corte (Shear index) (12) y (26). Cambios muy grandes en esta pendiente producirán valores muy altos de viscosidad a bajas velocidades de fluir, es decir, cuando la velocidad de aplicación de la carga es lenta.

Doyle (4) y Hveem (12) han encontrado en asfaltos que habían sido sometidos a ensayos de envejecimiento, un cambio notorio en el índice de corte. Estos asfaltos empleados en caminos experimentales frente a otros betunes normales y durables, fallaron en poco tiempo, presentando el pavimento un marcado fisuramiento. En cambio asfaltos con variaciones más pequeñas del índice de corte daban mezclas que permanecían en perfecto estado. En consecuencia, se ve que es importante conocer el comportamiento reológico de los asfaltos bajo la forma del índice de corte luego de ser sometidos a ensayos de envejecimiento. Como se verá en la exposición de los resultados experimentales, las variaciones del índice de un asfalto luego de ser sometido a calentamiento durante 75 minutos a 163 C (Rolling Film Test) no son muy marcadas, de ahí la necesidad de incrementar el tiempo del

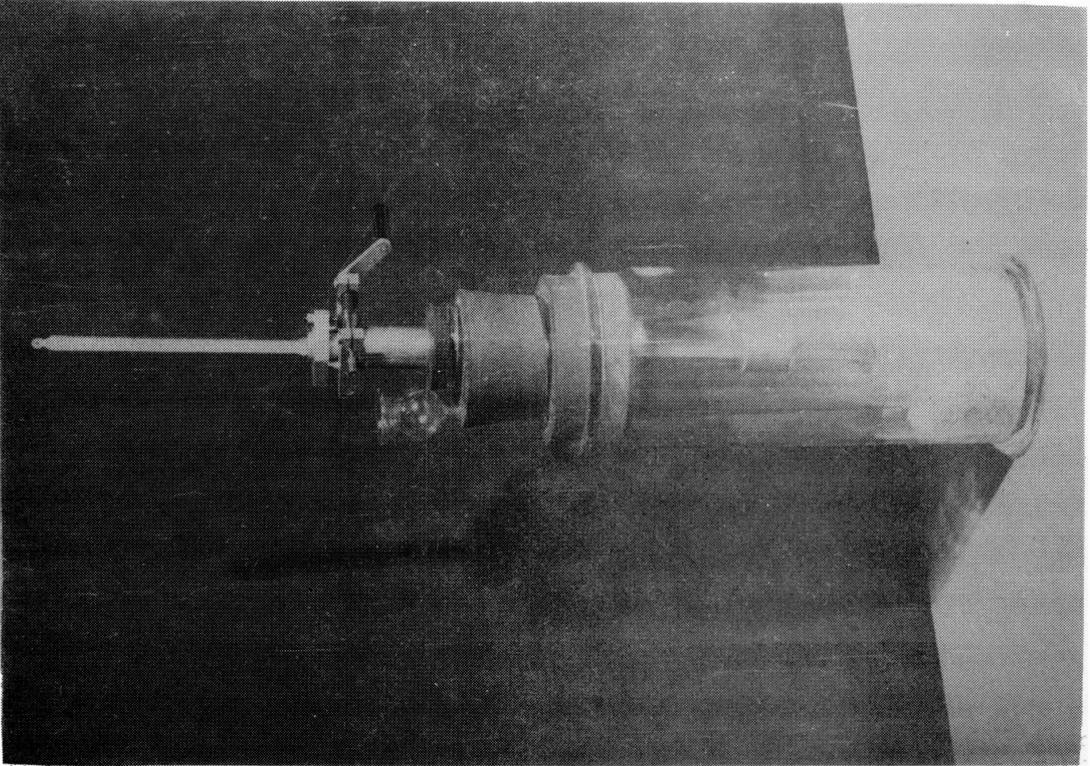


Fig. 7
Aparato para punto de fractura según Fraass

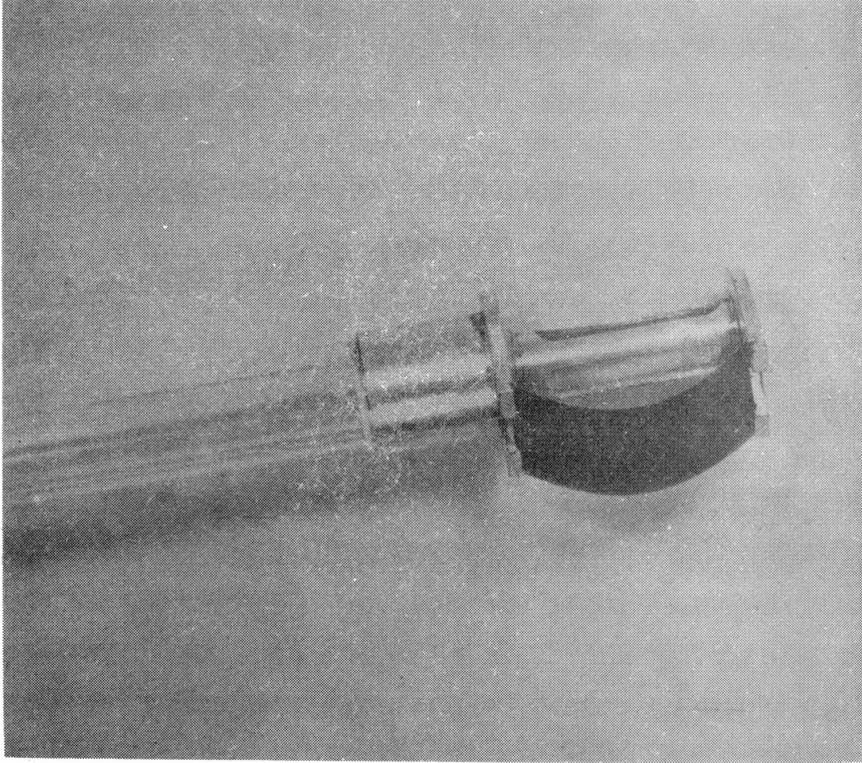


Fig. 8
Detalle de la película bituminosa flexionada
sometida al ensayo de Fraass

ensayo a los efectos de poner de manifiesto si se produce dicha variación.

A los asfaltos en estudio se los sometió a calentamiento (envejecimiento) durante 75, 150 y 300 minutos a 163 C según la técnica de la película fina rotativa (Rolling Film Test).

El tiempo de 300 minutos equivaldría, según se cree a un comportamiento en servicio de aproximadamente 5 años (14).

MATERIALES ESTUDIADOS

Del total de asfaltos estudiados en la primera parte del trabajo se eligieron siete, los identificados con las letras B, C, F, G, H, I y J respectivamente. Las características se muestran en la Tabla I de la primera parte.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Punto de fractura Fraass

En la Tabla V se muestran los valores obtenidos de punto de fractura junto con los de penetración, punto de ablandamiento, índice de penetración Pfeiffer y el módulo de rigidez (Stiffness). Este último se calcula para un tiempo de aplicación de la carga de 11 seg y la temperatura de Fraass, utilizando para ello el nomograma de Van der Poel (25).

Del análisis de esta tabla se ve que la susceptibilidad térmica de los betunes, medida por el índice de

Pfeiffer, disminuye con el envejecimiento, con excepción del asfalto F, en que se mantiene constante. Hay que hacer notar que el índice de corte de este asfalto también se mantiene constante con el envejecimiento como se verá más adelante. El punto de fractura Fraass, se hace menos negativo con el aumento del grado de envejecimiento, si bien este decrecimiento no es muy marcado en la mayoría de los asfaltos, con excepción nuevamente del asfalto F. En este asfalto existe una diferencia de 11 grados en el punto de fractura sobre el betún original y el envejecido durante 300 minutos, lo que queda justificado por su alta susceptibilidad a la temperatura como lo indica su índice de penetración.

Finalmente se observa una buena constancia en los valores de Stiffness, concordando con lo establecido por Van der Poel que en nuestro caso oscilan entre 1 y 4×10^9 dinas/cm².

Comportamiento reológico

Se trabajó en espesores de película de 100 micrones aproximadamente con cuatro esfuerzos de corte a $25 \text{ C} \pm 0,1$. Los valores de viscosidad y velocidad de fluir fueron graficados en escala logarítmica y las viscosidades a una velocidad de fluir de 0,001 y 0,05 seg^{-1} fueron calculadas. De este mismo gráfico se obtuvo el valor de la pendiente o sea el índice de corte.

En la tabla VI se muestran los valores obtenidos.

Del estudio de esta tabla se observa, como se dijo anteriormente, que no hay una variación muy grande del índice de corte entre el asfalto original y el envejecido 75 minutos a 163 C. Estos valores concuerdan con los obtenidos por otros autores (4) en iguales condiciones. En cambio, una variación apreciable se observa en los asfaltos envejecidos durante 300 minutos, lo cual indica una marcada complejidad en el flujo que posteriormente podría incidir en el comportamiento en servicio del asfalto.

La excepción a este comportamiento general, es el asfalto F, el cual muestra un bajo índice de corte y una

TABLA V

ASFALTO	Penetración (a 25 C)	Punto de Ablandamiento (C)	Indice de Penetración (Pfeiffer)	Punto de Rotura Fraass (C)	Stiffness (dinas/cm ²)
B Original	39	53,5	-0,9	- 16	4,0 x 10 ⁹
B + 75 min	33	58,0	-0,2	- 12	1,5 "
B + 150 min	30	60,0	-0,1	- 10	1,5 "
B + 300 min	24	66,0	+0,5	- 9	1,5 "
C Original	57	50,0	-0,9	- 16	2,5 "
C + 75 min	35	56,8	-0,5	- 14	3,0 "
C + 150 min	22	58,9	-0,5	- 13	3,0 "
C + 300 min	21	68,0	+0,5	- 12	2,5 "
F Original	82	46,0	-1,1	- 17	1,5 "
F + 75 min	52	48,8	-1,4	- 15	4,0 "
F + 150 min	40	50,9	-1,4	- 11	3,1 "
F + 300 min	31	55,4	-1,1	- 6	2,5 "
G Original	90	47,2	-0,8	- 16	1,4 "
G + 75 min	60	49,8	-0,6	- 13	2,0 "
G + 150 min	45	52,1	-0,5	- 12	1,4 "
G + 300 min	34	59,0	0,0	- 12	1,5 "
H Original	165	39,8	-1,0	- 26	3,0 "
H + 75 min	90	47,8	-0,3	- 25	3,0 "
H + 150 min	65	51,8	-0,1	- 24	3,0 "
H + 300 min	43	61,8	+1,0	- 20	1,6 "
I Original	213	37,0	-1,2	- 24	2,0 "
I + 75 min	103	45,0	-0,7	- 21	1,7 "
I + 150 min	78	48,7	-0,4	- 21	2,5 "
I + 300 min	53	58,4	+1,0	- 21	1,5 "
J Original	168	41,2	-0,6	- 19	0,7 "
J + 75 min	105	45,0	-0,7	- 18	1,6 "
J + 150 min	69	49,0	-0,6	- 17	1,7 "
J + 300 min	54	55,6	+0,2	- 16	1,5 "

TABLA VI

ASFALTO	Tiempo de enve jecimiento min.	Viscosidad a 25 C Megapoise		Indice de corte
		0,001 seg ⁻¹	0,05 seg ⁻¹	
B	Original	12,5	7,80	0,08
B	75	34,5	17,3	0,17
B	150	45,0	22,0	0,17
B	300	170	63,8	0,25
C	Original	3,80	2,65	0,10
C	75	17,0	12,0	0,10
C	150	40,0	29,0	0,08
C	300	178	66,5	0,25
F	Original	1,80	1,25	0,09
F	75	4,55	3,60	0,05
F	150	7,60	6,20	0,05
F	300	21,0	15,1	0,09
G	Original	1,70	1,32	0,06
G	75	4,35	3,80	0,05
G	150	13,5	8,30	0,16
G	300	45,0	28,6	0,14
H	Original	0,32	0,26	0,05
H	75	1,13	0,95	0,05
H	150	3,0	1,75	0,14
H	300	--	--	--
I	Original	0,16	0,16	0,00
I	75	1,15	1,00	0,03
I	150	3,95	2,32	0,12
I	300	16,8	7,60	0,14
J	Original	0,35	0,31	0,03
J	75	2,22	1,72	0,05
J	150	6,00	2,88	0,17
J	300	11,5	6,00	0,15

constancia en su valor luego de los sucesivos envejecimientos, lo cual revelaría una excelente resistencia al calentamiento prolongado.

CONCLUSIONES

- 1) Los ensayos realizados sobre los betunes según la técnica ASTM 1754 e IRAM 6582 para tiempos de 5 horas, determinando la penetración de los residuos, el por ciento retenido de penetración y la viscosidad dinámica a 60 C, ponen en evidencia que la penetración residual y el valor de la penetración retenida, no son una medida real de la viscosidad del material. Lo mismo acontece con los materiales sometidos al ensayo de Hveem y colaboradores por el método de película fina rotativa de 75 minutos de duración.
- 2) Se encuentra una aceptable coincidencia entre los valores de viscosidad a 60 C de los residuos del ensayo ASTM (5 horas) y el del método de Hveem (75 minutos) para la mayor parte de los asfaltos estudiados.
Dicha coincidencia se repite también para el ensayo de penetración a 25 C siguiendo las técnicas descriptas.
- 3) Los valores de viscosidad y penetración para 10 horas (ensayo de 3 mm) y 150 minutos (película fina rotativa), como los de 15 horas y 300 minutos no encuentran concordancia, produciéndose un incremento muy grande de la viscosidad, en el intervalo de calentamiento que va de 150 a 300 minutos en el ensayo de la película fina rotativa.
- 4) Dada la concordancia en los valores obtenidos, el método de Hveem y colaboradores ofrece ventaja frente al método ASTM 1754, en el menor tiempo de ejecución del ensayo.
- 5) El índice de envejecimiento considerado como el cociente de la viscosidad del material calentado y la viscosidad del material original (película fina rotativa) que es una medida del cambio de consistencia experimentado, revela

que en las condiciones de mezcla en usina (75 minutos), la alteración de los materiales es menos manifiesta en los asfaltos B, E y G. Se tiene una alteración algo mayor en los betunes A, H, F y J.

- 6) La viscosidad de los residuos luego del ensayo de envejecimiento durante 300 minutos, según el método de Hveem, servirán como elemento de juicio para valorar el incremento de consistencia de los asfaltos, luego de un período prolongado de servicio, que equivaldría a 5 años, según la experiencia de los investigadores del Estado de California.
- 7) El punto de fractura según Fraass expresado en grados centígrados crece a medida que aumenta el grado de envejecimiento, no existiendo una marcada diferencia entre los betunes originales y los envejecidos durante 75 minutos a 163 C. La diferencia se acentúa a 300 minutos de exposición, siempre con referencia al asfalto original. La mayor diferencia, 11 C, se encuentra en el asfalto F, lo que está de acuerdo con su elevada susceptibilidad térmica, como lo indica el índice de Pfeiffer.
- 8) Los valores del módulo de rigidez (Stiffness) calculados a la temperatura de Fraass oscilan entre 1 y 4×10^9 dinas/cm², y están de acuerdo con lo establecido por Van der Poel.
- 9) El comportamiento reológico estudiado bajo la forma del índice de corte (Shear index) con el microviscosímetro de placas deslizantes, nos muestra que no hay una variación grande entre los asfaltos originales y envejecidos 75 minutos a 163 C. Dentro de los materiales estudiados, en cambio, se observa un considerable incremento con los betunes envejecidos 300 minutos, con excepción del betún F.
- 10) Los ensayos reológicos practicados en los betunes envejecidos durante 300 minutos siguiendo la técnica Hveem y colaboradores, permitirían prever el comportamiento en servicio de los asfaltos, de llegar a establecerse fehacientemente para nuestros asfaltos, la equivalencia en tiempo entre la alteración producida en servicio luego

de un cierto período y la que se obtiene en laboratorio durante 300 minutos, como se dijo anteriormente, algunos autores de EE.UU. afirman que tal equivalencia es de 5 años.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Hatherly, L.W. - Asphaltic Road Materials (1966).
- 2) McLeod, N. - Decimotercera Reunión del Asfalto, Córdoba, 1964.
- 3) Simpson, W., Griffin, R. y Miles, K. - A.S.T.M. S.T.P. 277 (1959).
- 4) Doyle, P. - Assoc. Asph. Pav. Tech. 27, 581 (1958).
- 5) Blokker, P. C. - Fifth World Petroleum Congress (1959).
- 6) Welborn, F. - 7º Congreso Mundial de Petróleo, PDDC 41 (1967).
- 7) Monismith, C. - 7º Congreso Mundial de Petróleo, PD 41 (2), 19 (1967).
- 8) A.S.T.M. Method D-1754 (1966).
- 9) I.R.A.M. Norma 6604 Asfaltos de petróleo para pavimentos (1957).
- 10) Castellano, E. y Galli, C. - Primera Reunión del Asfalto (1946).
- 11) Lewis, R. y Welborn, J. - Proc. Assoc. Asph. Pav. Tech. 14 (1940).
- 12) Hveem, F., Zube, E. y Skog, J. - Assoc. Asph. Pav. Tech. San Francisco (1963).
- 13) Dormon, J. - Conferencia en Dirección de Vialidad, Pcia. Bs.As. (1966).
- 14) Schmidt, R. - Chevron Asphalt Co. - Tech. Paper 137 (1966)

- 15) Kari, W. y Gordon, G. - Chevron Asphalt Co. - Tech. Paper 135 (1966).
- 16) Van der Poel, C. - Building Materials Cap. IX, Road Asphalt (1954).
- 17) A.S.T.M. Method D-1754 (1966).
- 18) Pinilla, A. y Agnusdei, J. - Decimotercera Reunión del Asfalto (1964).
- 19) State of California - Dep. Public Roads - Test Method 346 (1962).
- 20) Pinilla, A. y Reynaldi, A. - Decimocuarta Reunión del Asfalto (1966).
- 21) Fraass, A. - Asphalt u. Teer Strassenbantechn 3^a, 367 (1930).
- 22) Standard Methods of Testing Petroleum and its Products 1944, 5th ed., p. 27 (London Institute of Petroleum).
- 23) DIN, 1995 - Ub.
- 24) Rigden, P.J. and Lee, A.R., J. Appl. Chem. 1953, 3, 62.
- 25) Van der Poel, C. - Journal appl. Chem; Volume 4, Part 5, 1954, 221, 36.
- 26) Zube, E., Skog, J. - Report on Durability of Paving - Asphalt Part I, Division of Highways State of California, 1966.