

ENVEJECIMIENTO DE ASFALTOS COLOMBIANOS

N. AFANASIEVA, M. ALVAREZ, J. ARELLANO

Grupo de Investigación en Asfaltos – GIAS, Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
e-mail: gias@uis.edu.co

RESUMEN

Este trabajo estuvo dedicado a la determinación del cambio en las propiedades fisicoquímicas durante el proceso de envejecimiento físico de dos asfaltos industriales colombianos, provenientes del Complejo Industrial de Barrancabermeja y de la Refinería de Cartagena.

Los asfaltos fueron dispuestos en un banco de pruebas especialmente diseñado, ubicado en Guatiguará, Santander, para evaluar la acción conjunta del clima y también, por separado, de factores como la temperatura, humedad relativa, radiación solar total y ultravioleta, y la precipitación de aguas lluvias.

Se reportan datos promedio de los factores climáticos y del cambio en las propiedades fisicoquímicas de los asfaltos analizadas mensualmente como: la penetración, punto de ablandamiento, viscosidad absoluta y composición química. Se presentan las tendencias del proceso de envejecimiento de los dos asfaltos colombianos durante el primer año de exposición.

INTRODUCCIÓN

La reducción cada vez más notoria en la vida útil de las vías y el aumento de los costos de construcción (más de 500 millones de pesos por kilómetro) así como los costos crecientes del mantenimiento vial, han despertado el interés de varias instituciones para adelantar investigaciones sobre el proceso del deterioro prematuro de los pavimentos asfálticos. Dentro de los factores causantes de estas fallas se encuentran deficiencias en diseño, mala calidad en materiales y factores externos como el clima y sobrecarga del transporte^{5,15,18,13,28}.

Por tal motivo en los últimos años con apoyo económico de COLCIENCIAS, el Grupo de Investigación en Asfaltos - GIAS de la Universidad Industrial de Santander, ha realizado algunos proyectos de investigación^{1-5,7-11} relacionados con la determinación de la influencia de varios factores climáticos tropicales en el proceso de

endurecimiento de los asfaltos y por ende de las carpetas asfálticas. El envejecimiento de los ligantes asfálticos o el fenómeno de cambio o pérdidas en las características fisicoquímicas iniciales del material se presenta prácticamente desde su producción en la refinería, cambios que continúan durante la preparación de la mezcla asfáltica con agregado pétreo a temperaturas elevadas, siguen durante en el proceso de pavimentación y por último en servicio en la vía^{2,5,7,28}. Los pavimentos presentan algunos síntomas característicos de la influencia de factores como el tráfico y el medio ambiente o manifestación notoria del envejecimiento, tales como fisuras, agrietamiento (piel de cocodrilo) y desprendimiento del asfalto con el agregado^{12,21,20}.

El envejecimiento del asfalto es causado principalmente por factores del medio ambiente o por acción indirecta del hombre,

estos factores se pueden ordenar de la siguiente forma:

- a) Medio ambiente: oxígeno u ozono, radiación solar global, temperatura ambiente, agua, sales y otros componentes inorgánicos (ácidos, óxidos), organización estratigráfica y actividad sísmica²⁵.
- b) Acción del hombre: Calidad de las materias primas (asfalto, agregado), cumplimiento de normas y especificaciones según el diseño de la carretera; temperatura de mezclado, aplicación y compactación; esfuerzos mecánicos (carga del transporte); uso de aditivos y rejuvenecedores; mantenimiento preventivo.

Teniendo en cuenta trabajos anteriores^{1,3,4,12,22,26} se considera que el mecanismo de envejecimiento incluye dos etapas principales:

- a) Envejecimiento físico o endurecimiento por evaporación de los compuestos livianos, que hace que el asfalto se torne rígido, porque la circulación de aire, que implica el paso del oxígeno dentro del asfalto, hace que el material se endurezca al aumentar las fuerzas de interacción entre moléculas reduciendo así la movilidad molecular^{17,20,25}.
- b) Envejecimiento químico o termooxidante, que involucra cambios moleculares en la composición química del asfalto^{24,25}.

Estos dos fenómenos conllevan al envejecimiento fisicoquímico constante, progresivo y de carácter irreversible debido a la complejidad de los componentes pesados de los ligantes obtenidos del petróleo.

En cuanto al envejecimiento químico, se considera que la causa principal del endurecimiento y deterioro del asfalto es la interacción del mismo con el ambiente²⁶. Se cree que el fenómeno de endurecimiento – envejecimiento se debe principalmente a la oxidación del material asfáltico con el oxígeno de la atmósfera^{20,26,27}. El endurecimiento oxidativo es una reacción química irreversible que incrementa en los asfaltos los compuestos con el grupo funcional carbonilo, como cetonas, aldehídos y compuestos con el sulfogruppo^{6,14,16,25}. La velocidad del proceso de envejecimiento depende también de la severidad de los niveles de la temperatura ambiente, el tiempo, el acceso del

oxígeno al asfalto y la reactividad intrínseca del ligante^{2,19,27,29}.

En presencia de la luz se aceleran las reacciones químicas características del envejecimiento fotooxidativo^{24,25}. En este caso el espectro de onda de rayos ultravioleta es absorbido por el asfalto y actúa como catalizador para la oxidación; la reacción es entonces mucho más rápida. En algunas publicaciones se muestra que la incidencia de estos rayos alcanza aproximadamente hasta 10 micrones de profundidad de la capa del ligante^{21,24}.

Los cambios en la composición genérica de los asfaltos muestran que el envejecimiento del asfalto puede ser representado por la siguiente secuencia de reacciones de transformación de los compuestos de menor peso molecular en los compuestos más complejos y de carácter policicloaromático^{14,17,22,26}:



El aumento en la formación de la fracción de los asfaltos es la manifestación más clara del endurecimiento del asfalto por el envejecimiento fisicoquímico del mismo^{2,14,18,23,29}.

Se ha demostrado que a pesar de que los asfaltos presentes originalmente son químicamente diferentes de los que se forman por el envejecimiento oxidativo, ambos tipos tienen un efecto similar sobre la viscosidad del asfalto²³.

PARTE EXPERIMENTAL

Para la investigación de la influencia del clima tropical total y algunos de los factores climáticos por separado en el proceso de envejecimiento de varios asfaltos colombianos, se realizaron el diseño y el montaje de un banco de pruebas en Guatiguará, Santander. El banco consta de 2538 muestras dispuestas de tal manera que permite evaluar por separado la influencia de los factores climáticos en asfaltos puros y en una mezcla asfáltica con agregado tipo calcáreo¹¹.

Medición de los factores climáticos

La evaluación detallada de la influencia del medio ambiente en el envejecimiento del asfalto se realiza analizando los siguientes factores climáticos: temperatura cíclica del aire, presión barométrica, radiación solar global acumulada, radiación ultravioleta (en cada uno de sus tres regiones A, B y C), humedad relativa, precipitación de aguas lluvia y velocidad del viento.

Objetos de investigación

Como objetos de investigación fueron elegidos los principales tipos de asfaltos industriales o fondos de vacío producidos en el país por la compañía nacional de petróleos ECOPETROL, provenientes del Complejo Industrial de Barrancabermeja (Asfalto CIB) y de la Refinería de Cartagena (Asfalto CAR).

Banco de pruebas

El banco de pruebas se encuentra localizado en el techo de la sede de investigaciones de la UIS, Guatiguará, Piedecuesta, Departamento de Santander. El diseño determinó la necesidad de montar 2538 muestras¹¹. En calidad de portamuestras se utilizaron recipientes de aluminio en dos tamaños: portamuestras estándar para la determinación de la penetración de los asfaltos, los cuales ofrecen un área de exposición de 38,5 cm² y portamuestras con un área de exposición de 154 cm². Los portamuestras con

asfaltos fueron dispuestos en canastas plásticas rectangulares que permiten su manipulación.

Se construyeron dos desecadores de 1.5 m³ para ubicar una parte de las muestras, con el fin de protegerlas de la radiación ultravioleta - visible, de los vientos, la lluvia y además, de la humedad, que es controlada con un adsorbente de silicagel. El material de los desecadores es acrílico color ámbar, que sólo permite la incidencia de la porción de luz correspondiente al espectro infrarrojo, el cual se manifiesta como calor, por lo que la parte de las muestras dispuestas en estos desecadores sólo reciben la influencia de la temperatura.

Para la ubicación de las muestras dentro del depósito aislado de las condiciones ambientales al aire libre fueron construidas tres estanterías metálicas, cada una con varios niveles. En este recinto los factores preponderantes son la temperatura y la humedad.

Las muestras están distribuidas en cinco tipos diferentes de exposición (experimentos) a los factores climáticos de acuerdo con la Tabla 1. Cada muestra está identificada con el tipo de experimento, el tipo de asfalto y el mes en que debe ser retirada para realizar las pruebas de caracterización.

TABLA 1. Influencia de los diferentes factores climáticos sobre cada tipo de experimento en el banco de pruebas al aire libre y en el depósito

EXPERIMENTO	FACTORES CLIMATICOS					
	Temperatura	Humedad relativa	Precipitación de agua lluvia	Radiación solar global	Radiación solar UV	Velocidad del Viento
1. Abierto						
2. Semiabierto con cubierta perforada						
3. Cerrado con cubierta metálica						
4. Cerrado en desecador						
5. Depósito						

Tipos de experimento

Cada experimento determina la influencia conjunta de los factores climáticos o la influencia por separado de los mismos sobre el comportamiento del asfalto. En el experimento 1 las muestras están abiertas a la influencia de todos los factores climáticos, en el experimento 2 y 3 las canastas tienen cubiertas de una lamina de aluminio grueso perforada y entera respectivamente, y el experimento determina la influencia de los factores marcados en color oscuro en la tabla 1. En el depósito dentro del laboratorio las condiciones de temperatura y humedad se mantienen casi constantes.

Seguimiento del proceso de envejecimiento en el asfalto

Las mediciones climatológicas que abarcan este primer año de seguimiento se iniciaron en Julio de 1998, recolectándose datos desde las 8 a.m. hasta las 6 p.m. con intervalos de una hora.

Antes de realizar el montaje del banco se determinaron las propiedades de los asfaltos iniciales y después de ser sometidos a envejecimiento acelerado estándar en película fina (TFOT, Norma ASTM D-1754), para establecer un patrón de comportamiento esperado de los mismos. La caracterización de los asfaltos del banco de pruebas incluyó los siguientes ensayos:

1. Composición química de los asfaltos por cromatografía líquida en columna empacada (ASTM D4124-85).
2. Densidad relativa por el método picnométrico (Norma ASTM D70-82).
3. Ductilidad (Norma ASTM D113-86).
4. Penetración a 25°C, 100g, 5s (Norma ASTM D5-86).
5. Punto de ablandamiento por anillo y bola (Norma ASTM D36-86).
6. Punto de chispa por copa abierta de Cleveland (Norma ASTM D92-90).
7. Viscosidad Absoluta en el viscosímetro Capilar (ASTM D2171).
8. Viscosidad Cinemática en el viscosímetro de brazo cruzado (ASTM D2170-85).

También se hicieron análisis de grupos funcionales por espectroscopía IR a los asfaltos CIB inicial y a los asfaltos CIB de los cinco tipos

de experimentos, y envejecidos aceleradamente para determinar el grado de variación alcanzada, así como la formación de compuestos característicos de los cambios químicos producidos por la degradación fotooxidativa del asfalto, análisis estructural de los asfaltenos por difracción de rayos x, cromatografía líquida de alta resolución y determinación de tamaño de partículas. Los resultados obtenidos fueron presentados en otras publicaciones^{1-3,8,9,10}.

RESULTADOS OBTENIDOS

Clima

En las Tabla 2 y 3 se presentan los valores máximos, mínimos y promedios mensuales de la temperaturas del aire, humedad relativa del aire (H.R.) y velocidad del viento (V.V.), así como las cantidades acumuladas de las mediciones de precipitación de aguas lluvias, radiación solar global y radiación solar ultravioleta en sus tres regiones A, B y C.

Cambio de las propiedades fisicoquímicas de los asfaltos.

En las Figuras 1 a la 6 se observan las variaciones de las propiedades fisicoquímicas (penetración, viscosidad absoluta y temperatura de punto de ablandamiento) de los asfaltos CIB y CAR expuestos a la influencia de diferentes factores climáticos. En las Figuras 7 y 8 se presenta el cambio en la composición química de los dos asfaltos CIB y CAR.

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Según el análisis de los factores climáticos, se pudo observar que la variación de éstos en los primeros 12 meses, no fue considerable ya que los registros mensuales para cada factor durante este período son similares, lo cual indica que las condiciones atmosféricas de esta región del departamento de Santander se mantuvieron casi constantes para todo el primer año de seguimiento del banco de pruebas al aire libre (ver Tablas 2 y 3).

Teniendo en cuenta el reporte meteorológico obtenido se observa que la variación en la temperatura del aire es más significativa durante el día que en la noche, donde se mantiene prácticamente constante. Esto se debe

principalmente a la influencia de la radiación solar directa. La temperatura máxima promedio del año fue de 30.65°C, valor que se alcanzan entre las 12:00 y 14:00, en las noches la temperatura se encuentra entre 17 y 19°C.

TABLA 2. Datos de promedio mensual, semestral y anual de mediciones climatológicas en el primer año de seguimiento del banco de pruebas al aire libre y dentro del depósito

Tiempo de exposición	Temp. Max (°C)	Temp. Pro (°C)	Temp. Min (°C)	H.R. Max (%)	H.R. Pro (%)	H.R. Min (%)	V.V. (m/s)	DEPÓSITO	
								Temp. (°C)	H.R.(%)
MES 1	33,00	27,04	17,94	95,40	64,02	39,64	0,86	26,96	70,03
MES 2	31,86	27,96	18,07	93,79	64,70	41,82	0,86	27,03	65,53
MES 3	31,31	26,34	18,41	95,10	67,83	44,24	0,51	27,14	67,66
MES 4	30,84	26,83	19,29	93,87	65,66	46,71	0,54	27,32	66,86
MES 5	29,83	25,70	18,93	94,13	70,37	50,77	0,62	27,42	65,8
MES 6	26,42	25,03	22,21	84,08	74,91	64,29	1,35	26,87	69,31
Semestre 1	30,54	26,48	19,14	92,73	67,92	47,91	0,79	27,12	67,53
MES 7	28,71	25,26	18,08	92,45	69,15	49,28	0,89	27,23	67,21
MES 8	30,23	26,64	18,51	94,23	64,73	46,97	1,08	27,44	65,17
MES 9	30,78	27,14	18,46	93,61	61,49	44,11	0,95	27,71	64,17
MES 10	31,96	27,98	18,21	93,04	58,76	40,68	0,96	27,91	59,60
MES 11	31,20	26,46	18,28	93,66	64,25	44,34	1,10	26,78	69,66
MES 12	31,72	27,19	17,73	93,84	58,73	40,48	1,01	23,81	55,63
Semestre 2	30,77	26,78	18,20	93,47	62,85	44,31	0,99	26,82	63,57
ANUAL	30,65	26,63	18,67	93,10	65,39	46,11	0,89	26,97	65,55

TABLA 3. Valores mensuales y acumulados* de radiación solar total, radiación Ultravioleta UVA, UVB y UVC y precipitaciones de aguas lluvia.

VALORES MENSUALES Y ACUMULADOS* SEMESTRALES					
Tiempo de exposición	Rad. Solar Total (W/m2)	Radiación Ultravioleta			Precipitaciones (mm)
		254 nm	310 nm	365 nm	
MES 1	135529,1	323,5	2224,9	3006,3	63,4
MES 2	141157,7	319,5	2215,9	3102,6	83,7
MES 3	152490,2	301,7	2009,1	2676,9	134,8
MES 4	149899,6	311,6	1891,6	2552,5	200,2
MES 5	112235,8	216,8	1340,0	1764,6	114,5
MES 6	136550,8	210,1	1038,1	1368,3	96,9
Semestre 1*	827863,3	1683,4	10719,8	14471,3	693,5
MES 7	178812,5	426,3	2858,8	3284,0	194,7
MES 8	182098,6	495,8	2915,7	1850,5	228,0
MES 9	151975,0	385,8	2570,9	1507,5	99,2
MES 10	163044,0	407,9	2799,3	2784,9	93,1
MES 11	168674,5	489,3	2994,5	2934,0	94,4
MES 12	147129,7	371,4	2591,1	2445,8	65,5
Semestre 2*	991734,3	2576,6	16730,5	14806,9	774,9
ANUAL*	1819597,6	4260,0	27450,3	29278,2	1468,4

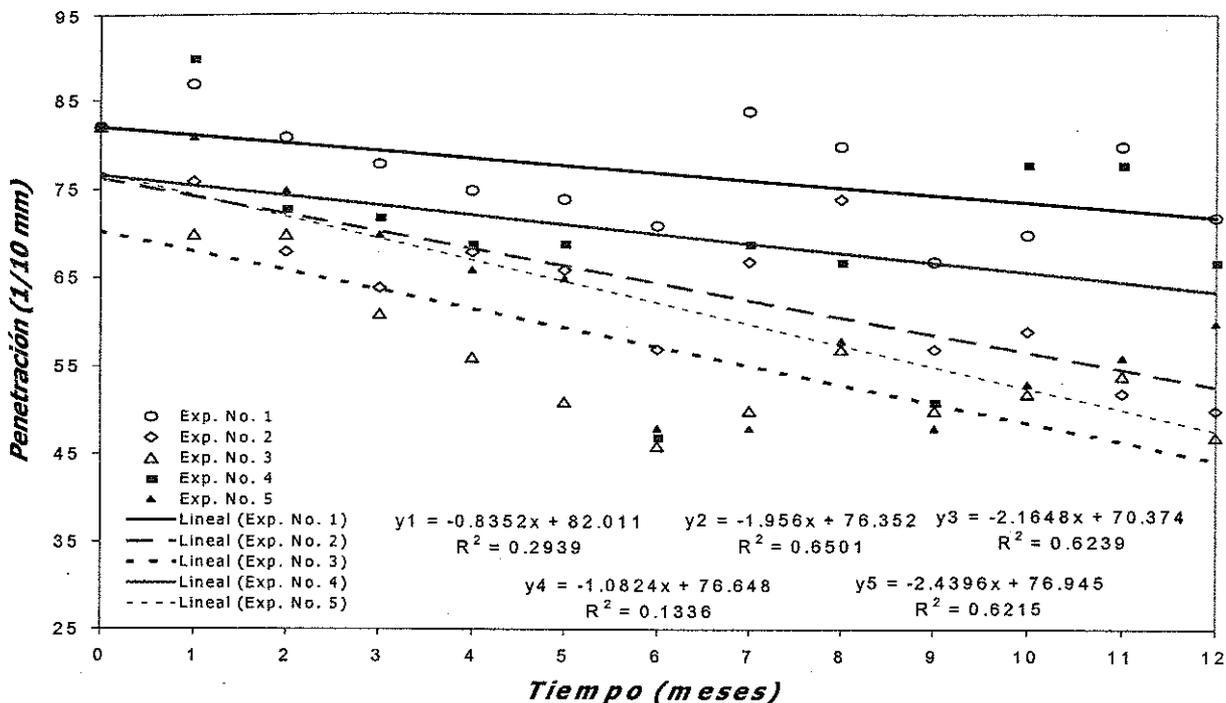


Figura 1. Tendencias en el cambio de la penetración a 25°C del Asfalto CIB en el primer año de envejecimiento en el banco de pruebas. Experimentos 1-5.

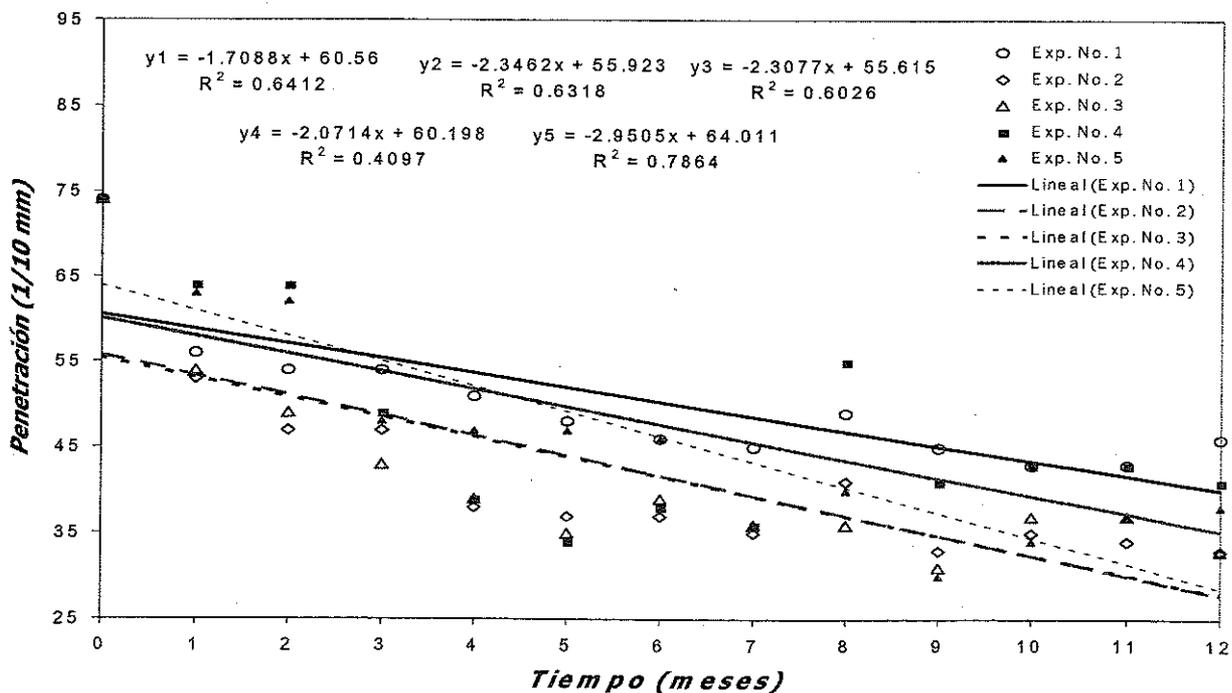


Figura 2. Tendencias en el cambio de penetración a 25°C del Asfalto CAR en el primer año de envejecimiento en el banco de pruebas. Experimentos 1-5.

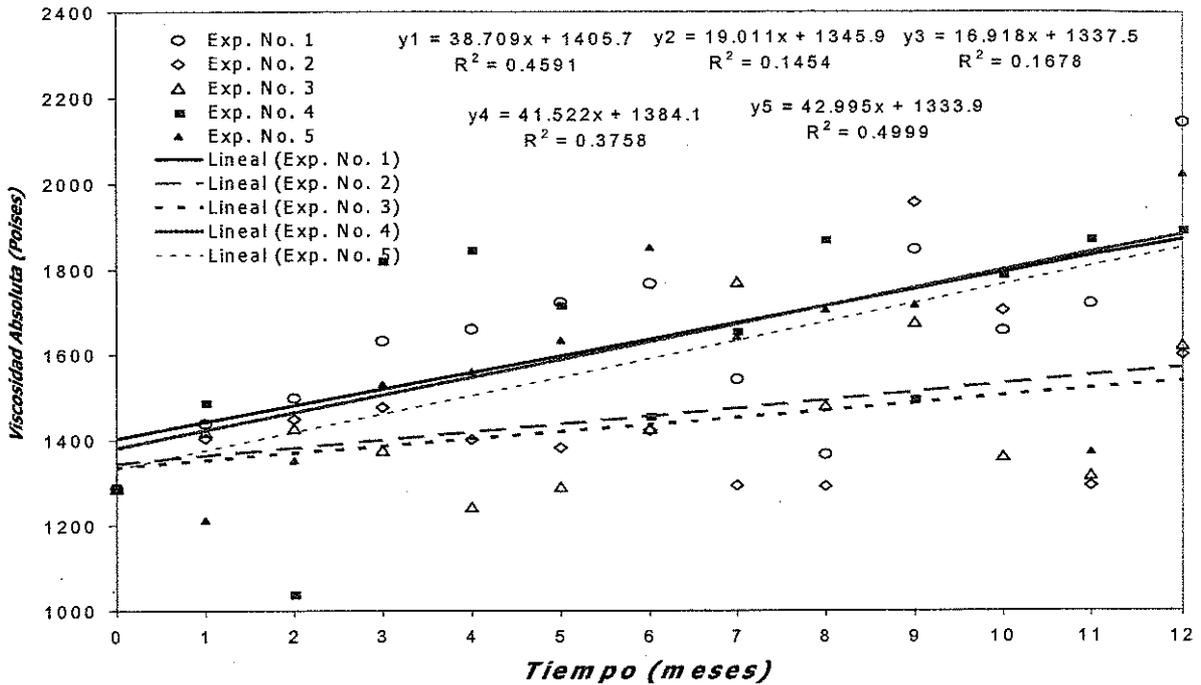


Figura 3. Tendencias en el cambio de la viscosidad absoluta (60°C) del asfalto CIB en el primer año de envejecimiento en el banco de pruebas. Experimentos 1-5.

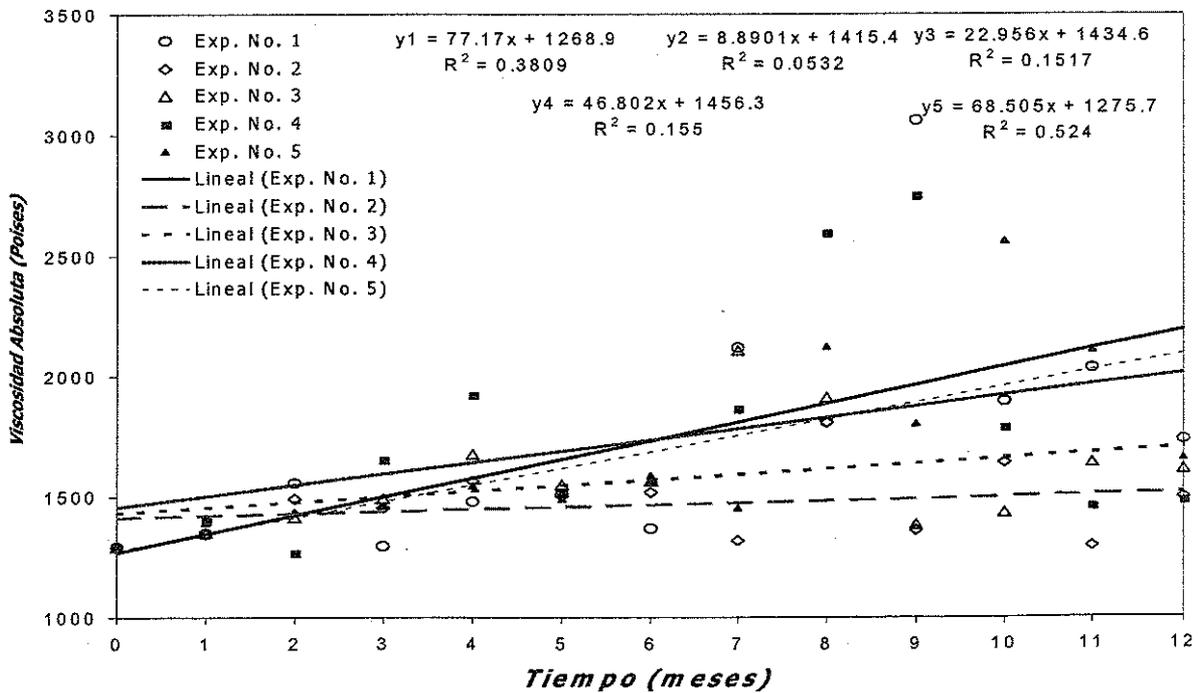


Figura 4. Tendencias en el cambio de la viscosidad absoluta (60°C) del asfalto CAR en el primer año de envejecimiento en el banco de pruebas. Experimentos 1-5.

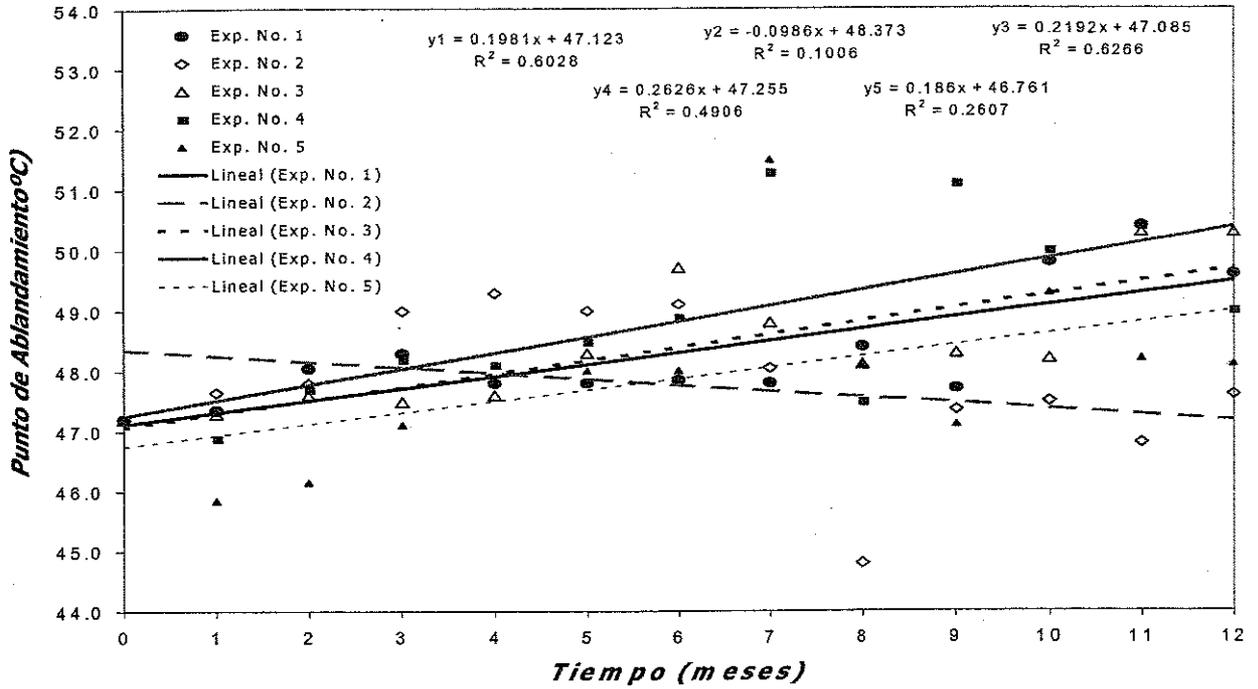


Figura 5. Tendencias en el cambio del punto de ablandamiento del asfalto CIB en el primer año de envejecimiento en el banco de pruebas. Experimentos 1-5.

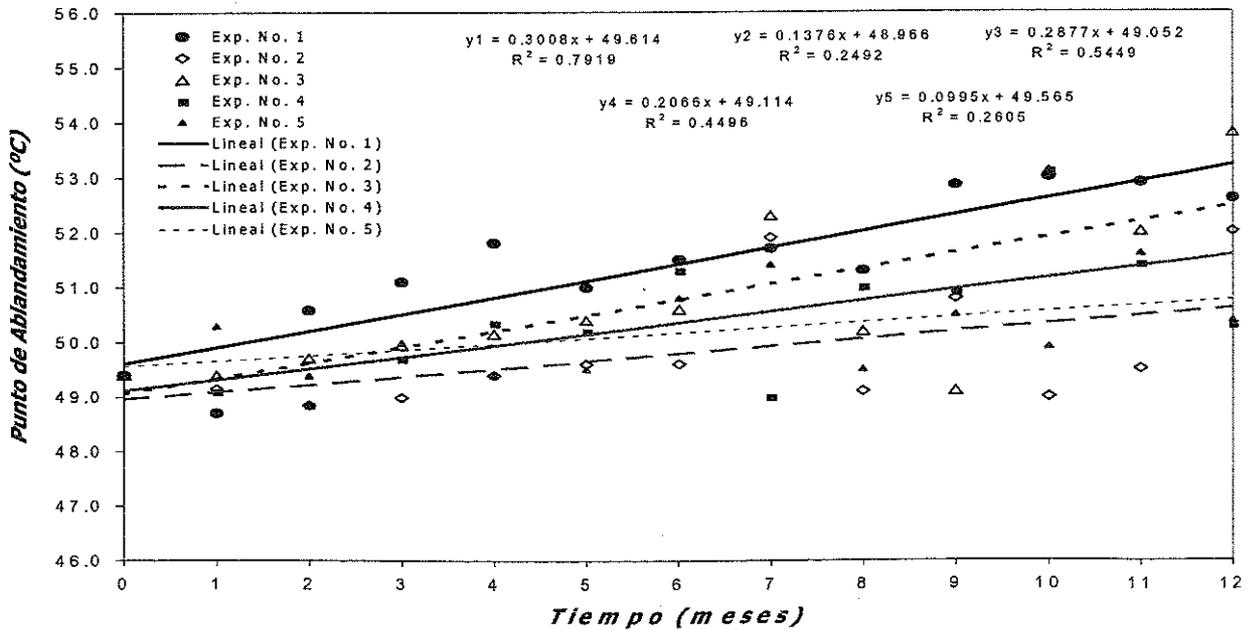


Figura 6. Tendencias en el cambio del punto de ablandamiento del asfalto CAR en el primer año de envejecimiento en el banco de pruebas. Experimentos 1-5.

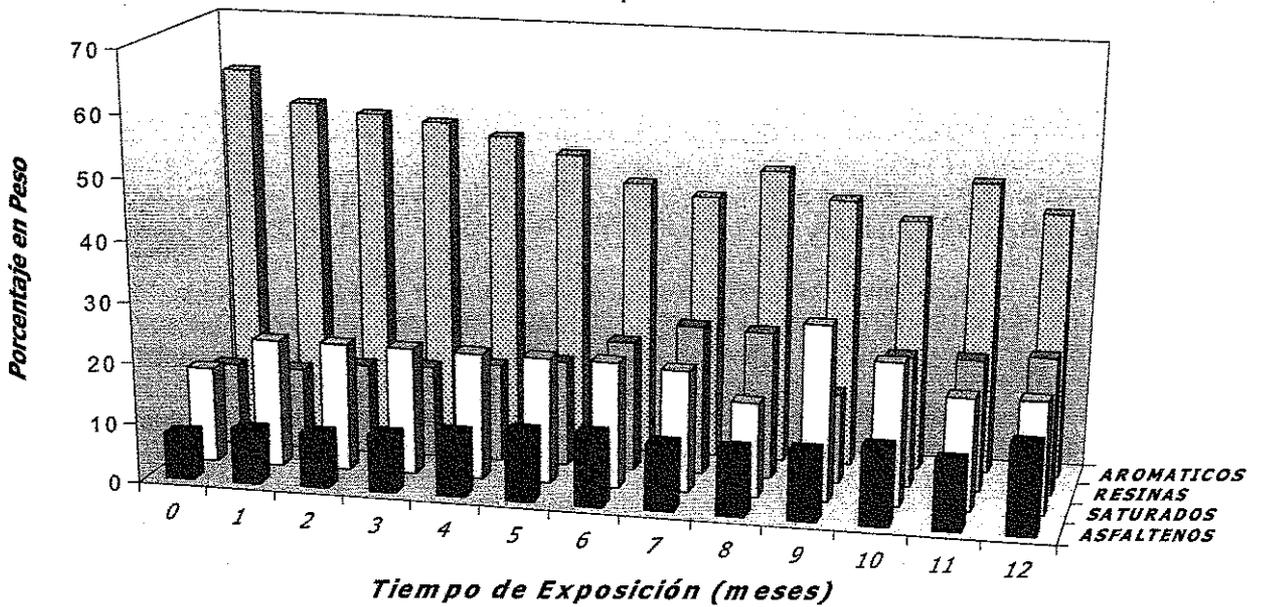


Figura 7. Cambio en la composición química del asfalto CIB en el primer año de envejecimiento en el banco de pruebas. Exposición a todos los factores climáticos (Experimento 1)

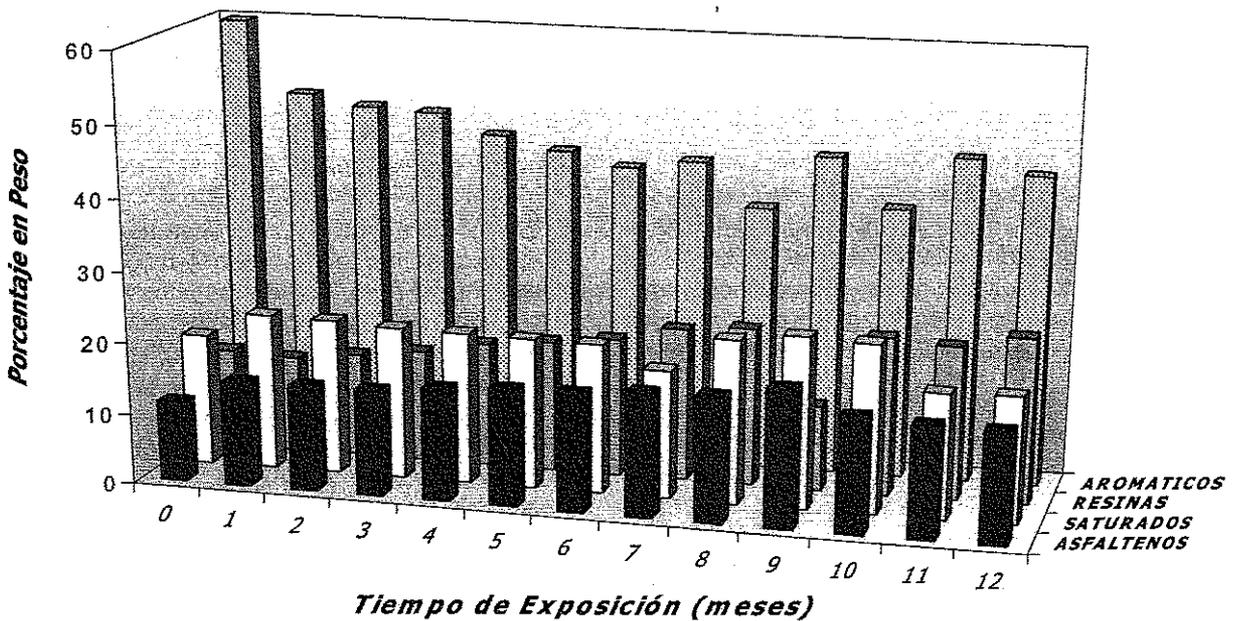


Figura 8. Cambio en la composición química del asfalto CAR en el primer año de envejecimiento en el banco de pruebas. Exposición a todos los factores climáticos (Experimento 1)

De los valores diarios y promedios mensuales y semestrales de temperatura máxima y mínima se puede deducir el ciclo térmico que sufre el asfalto expuesto al medio ambiente. En el primer mes de seguimiento se encontraron las más altas temperaturas máximas promedio 33°C y en el último se registraron las mínimas promedio de 17.73°C, lo que muestra una variación en la temperatura del aire de 15.27°C. Dado que el asfalto retiene el calor, su temperatura será superior a la del aire, y de acuerdo con los datos reportados en el primer año esta diferencia está entre 8 y 15°C, lo que define la temperatura cíclica del asfalto entre 19 y 52°C. (Ver Tabla 2)

Analizando la influencia de los factores climáticos en el cambio de las propiedades de los asfaltos, se observó que la temperatura es el factor determinante, por encima de la combinación de todos los factores climáticos, en el proceso de endurecimiento, ya que las muestras de los asfaltos que se encuentran en el experimento 4 (cerrado en desecador hermético) son las que presentan mayores cambios en todas sus propiedades, les siguen el experimento abierto a todos los factores, después con la cubierta cerrada y al final con perforada.

Hay que anotar que el ciclo de humedad al que es sometido el asfalto tiene una fuerte variación, lo cual se manifiesta en que la humedad máxima promedio mensual es prácticamente el doble de la humedad mínima mensual.

En cuanto a la influencia de los vientos, es poco apreciable en esta zona, en promedio 0,89 m/s, presentando ocasionalmente valores hasta de 5 m/s. Este factor retira y aleja los componentes volátiles del asfalto, siendo esta una de las causas por las que el asfalto se torna más duro y consistente.

La mayoría de las precipitaciones tuvieron lugar en las noches, acumulándose anualmente 1468.4 mm, aunque también hay temporadas en las que se tienen lluvias durante las horas diurnas y vespertinas. Lo que se observa después de las precipitaciones la superficie del asfalto se endurece, posiblemente por el choque térmico que implica este fenómeno. El agua que cae al asfalto es responsable de la remoción de componentes livianos solubles en agua, hecho que se manifiesta por el color parduzco que adquiere el agua que permanece en contacto con

una superficie bien limpia de asfalto, libre de polvo u otros agentes.

Durante el primer año de envejecimiento de los asfaltos se observan fluctuaciones en la radiación acumulada para cada mes. El valor acumulado de radiación ultravioleta mayor corresponde a la región A, cuya longitud de onda se analiza a los 365 nm. Sin embargo, esta es la región del espectro de menor incidencia en el asfalto^{8,11}. Para la radiación ultravioleta de la región B (310 nm) se obtuvieron valores acumulados muy cercanos a la radiación UVA. Los menores valores de la radiación ultravioleta se presentan en la región C (254 nm), cuyos valores son bastante bajos en comparación con las radiaciones UVA y UVB, aunque es la de mayor incidencia. El efecto de la radiación ultravioleta sobre la superficie del asfalto se manifiesta en una especie de polimerización, principalmente en la capa superior del asfalto, donde se forma una película gruesa y consistente, difícil de manejar para fines de ensayos de consistencia y reología.

Luego de realizar la caracterización de los asfaltos industriales colombianos mediante las pruebas estándar, se pudo determinar que el asfalto más resistente al proceso de endurecimiento físico, es decir, el que presenta menor cambio en sus propiedades durante el primer año de estudio es el asfalto CIB, seguido por el asfalto CAR.

En la Figura 1 se observa claramente que para el experimento abierto la penetración disminuye para ambos asfaltos a partir del segundo mes, siendo este cambio mayor en el asfalto CAR, casi 20 (1/10 mm). Los resultados obtenidos concuerdan con la bibliografía^{27,29}, donde se afirma que el asfalto presenta un cambio rápido en las propiedades durante la primera etapa de endurecimiento. Los cambios en la penetración muestran que los asfaltos se tornan con el tiempo de exposición más consistentes; probablemente por los reordenamientos que toman lugar en el asfalto a nivel molecular o a la disminución del tamaño de las partículas coloidales¹¹. En el asfalto CIB, la disminución más drástica de la penetración se observa en los experimentos 3 y 5, a pesar de que en estos sólo se recibe la influencia de la temperatura y la humedad. Esto permite

deducir que este tipo de asfalto se endurece rápidamente en condiciones de almacenamiento. En el asfalto CAR se aprecia similar comportamiento.

El asfalto CIB es el asfalto más blando, inicialmente su temperatura de punto de ablandamiento es de 47.2°C, y va aumentando con el tiempo de exposición. El endurecimiento más significativo ocurre en el experimento 4, donde el calor es el factor dominante que influye sobre las muestras. El asfalto CAR posee un mayor punto de ablandamiento, inicialmente 49.4°C. El aumento más considerable ocurre bajo la influencia de todos los factores climáticos en el experimento 1.

Durante el proceso de envejecimiento se puede observar que en todos los asfaltos aumenta progresivamente el punto de ablandamiento, pero no alcanza el valor correspondiente de los asfaltos envejecidos en película delgada (TFOT), aceleradamente.

El mayor cambio en las propiedades reológicas lo presenta el asfalto CAR, especialmente se aprecia en el aumento en la viscosidad absoluta en los experimentos 1 y 4; una tendencia similar se observa en el comportamiento que sufre el asfalto CIB.

En las Figuras 7 y 8 se observa el cambio en el porcentaje de las fracciones con el tiempo de exposición de los asfaltos en el banco, corroborando el modelo propuesto para la descripción del mecanismo del proceso de envejecimiento en los asfaltos, lo que se manifiesta en el aumento del porcentaje de las fracciones de asfaltenos y resinas dentro de la composición química de los asfaltos y la disminución del porcentaje de aromáticos, todo lo anterior generando un aumento en el índice de inestabilidad coloidal. Lo antes expuesto también fue corroborado mediante el análisis por espectroscopía de infrarrojo, se observa una disminución en la relación de compuestos aromáticos a alifáticos. Si comparamos los cambios entre los asfaltos se resalta la mayor velocidad del aumento en el porcentaje de asfaltenos en el asfalto CIB, dado sus menores valores iniciales con respecto al asfalto CAR, este último presenta una mayor susceptibilidad térmica, estabilidad coloidal intermedia y menor resistencia al envejecimiento.

La resistencia al envejecimiento presentada por el asfalto CIB ratifica su posicionamiento en el mercado nacional como el más empleado, además de ser el que se produce en mayores proporciones.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Colombiano de Ciencia y Tecnología (COLCIENCIAS) – UIS – CORASFALTOS, por la financiación a este proyecto realizado por Grupo de Investigación en Asfaltos – GIAS.

ABSTRACT

This paper is dedicated to the determination of changes in physical-chemical properties in the aging process of two Colombian industrial asphalts, from the Barrancabermeja and Cartagena refineries.

The samples were disposed in a specially designed shelves, to evaluate the influence of the climatic factors in Santander and each climatic factor separately: temperature, relative humidity, solar and ultraviolet radiation and rain precipitation.

Daily monitoring of the climate and monthly determination of physical-chemical properties of the natural aged asphalts was performed: penetration, softening point, viscosity and chemical composition for the first year of exposition, were the properties observed.

BIBLIOGRAFÍA

1. N. Afanasieva, Estudio del envejecimiento térmico y a presión de los asfaltos del petróleo por cromatografía líquida, VI Latin American Congress on Chromatography, : 114-115, Caracas, 1996.
2. N. Afanasieva, M. Alvarez, Chemistry of aging of asphalts, Congreso Mundial IUPAC, : 217- , Ginebra (Suiza), 1997.
3. N. Afanasieva, M. Alvarez, Envejecimiento de los asfaltos Colombianos, XXIX Reunión del Asfalto, 1: 1-8, Mar del Plata, 1996.

4. N. Afanasieva, M. Alvarez, La estructura de los asfaltos refinados. XXII Congreso latinoamericano de química y XXI Jornadas chilenas de Química, :47-48, Concepción, Chile, 1996.
5. N. Afanasieva, M. Alvarez, J. Arellano, Envejecimiento de asfaltos en tramos experimentales, Segundas jornadas internacionales del asfalto, : 14-, Piedecuesta, Colombia, 2000.2001
6. N. Afanasieva, M. Alvarez, M. Carreño, Montaje de un reactor discontinuo a nivel semipiloto para la oxidación catalítica de asfaltos colombianos, Revista *ion*, 15(1): 35-54, 1998.
7. N. Afanasieva, M. Alvarez, S. Farfan, M. Ortiz, Influencia del clima tropical en las propiedades reológicas de los asfaltos, Segundas Jornadas Internacionales del Asfalto, 21p, Piedecuesta, 2000.
8. N. Afanasieva, M. Alvarez, G. Mateus, Envejecimiento de asfaltos en la cámara climática específica Atlas Xenon Wheaterometer, Segundas Jornadas Internacionales del Asfalto, 16p, Piedecuesta, 2000.
9. N. Afanasieva, M. Alvarez, J. Puello, Cambio en las propiedades fisicoquímicas de los asfaltos sometidos a la influencia de algunos factores climáticos en el departamento de Santander, Segundas Jornadas Internacionales del Asfalto, 18p, Piedecuesta, 2000.
10. N. Afanasieva, M. Alvarez, J. Puello, Estudio del proceso de envejecimiento bajo la influencia de algunos factores climáticos, XII Congreso Ibero-Latinoamericano de Asfalto, :67-77, Sevilla, 1999.
11. N. Afanasieva, M. Alvarez, S. Serrano, Diseño de un banco para el estudio al aire libre para del proceso de envejecimiento de asfaltos colombianos, Primeras Jornadas Internacionales del Asfalto, :21-41, Piedecuesta, Colombia, 1998.
12. J.E. Barth, Asphalt: science and technology, :112-170 y :182-207, Gordon and Breach Science Publisher, New York, 1984.
13. E. Castañeda, Tecnología superpave en el diseño de carreteras, Primeras Jornadas Internacionales del Asfalto, :42-57, Piedecuesta, Colombia, 1998.
14. F.F. Choquest, A.F. Verhasselt, Natural an accelerated aging of bitumens: effect of asphaltene, asphaltene particles in fossil fuel exploration, recovery, refining, and production processes. Proc. Int. Symp., :13-29, 1992.
15. J. Dominguez, M. Sancho, Desarrollo de un mapa de áreas geográficas del Perú basado en las condiciones del clima y temperatura del pavimento para la selección de los grados de asfalto SUPERPAVE, XII Congreso Ibero-Latinoamericano de Asfalto, :479-490, Sevilla, 1999.
16. V. Fryazinov, B.G. Petchenyi, L.A. Akhmetova, Interrelation of density, composition and properties of asphalts, Bashkir Scientific-Research Institute for Petroleum Processing (BashNII NP), 16(3-4):681-684, 1980.
17. N.A. Glotova, V.S. Gorshkov, B.I. Kats, T.M. Shapiro, G.N. Yur'eva, Change in rheological properties and chemical composition of asphalts upon aging, Chem. Technol. Fuels Oils, 16(3-4): 278-280, 1980.
18. V.S. Gorshkov, B.J. Kats, N.A. Glotova, Chemical conversions of asphalts group components upon aging. Chem. Technol. Fuels Oils, 16(1-2): 65-68, 1980.
19. P. Herrington, G. Ball, Temperature dependence of asphalt oxidation mechanism, Fuel, 75(9): 1129-1131, 1996.
20. P. Herrington, J. Patrick, G. Ball, Oxidation of roading asphalts, Ind. Eng. Chem. Res., 33(11): 10-, 1994.
21. A. Hoiberg, Bituminous Materials: Asphalts, Tars and Pitches, 256p, Interscience Publisher, 1964.
22. B.I. Kats, N.A. Glotova, A.I. Kudryashova, Study of aging of asphalts from Romashkino and Ust'-Balyk crudes under natural conditions, Chem. Technol. Fuels Oils, 12(1-2) : 121-124, 1976.
23. M. Lin, J. Chaffin, M. Liu, C. Glover, R. Davison, J. Bullin, The effect of asphalt composition on the formation of asphaltenes and their contribution to asphalt viscosity, Fuel Science and Technology International, 14: 139-162, 1996.
24. K.G. Martin, Photo-oxidation of asphalt, Symposium on the Science of Asphalts in Construction, :D112-D125, Los Angeles, 1971.
25. T. Mill, D. Tse, Oxidation and photooxidation of asphalts, Preprints,

- American Chemical Society, Division of Fuel Chemistry, 35(3): 290-299, 1990.
26. B.G. Petchenyi, N. Afanasieva, M. Alvarez, Calificación cuantitativa de la resistencia de los asfaltos al envejecimiento termooxidante, X Simposio sobre Ingeniería de Pavimentos, : 215-220, Cali, Colombia, 1995.
 27. J.C. Petersen, P.M. Harnsberger, R. Robertson, Factors affecting the kinetics and mechanisms of asphalt oxidation and the relative effects of oxidation products on age hardening, American Chemical Society, Division of Fuel Chemistry, 41(4): 1232-1249, 1996.
 28. J. Torrejon, L. Sanz, R. Sagredo, J. Faundez, La tecnología SHRP-SUPERPAVE, evaluación de su aplicabilidad de Chile (primera y segunda etapas), X Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, 1: 465-478, Sevilla.
 29. Y.A. Tuffour, I. Ishal, J. Craus, Relating asphalt aging and durability to its compositional changes, Asphalt Paving Technologists, 58: 163-181, 1989.