

I. Congreso Andaluz de Carreteras

Construcción de Carreteras en Climas Semiáridos

10 al 13 de febrero de 1998
Palacio de Congresos de Granada

Área II

**Diseño, construcción y control de
calidad de carreteras**

Sesión 5: Tecnología de la mezcla bituminosa

4. 14. 20

PRIMER CONGRESO ANDALUZ DE CARRETERAS. GRANADA, FEBRERO 1998.

Título: Betunes modificados con polietileno en el tramo Chirivel (Almería) - límite de provincia con Murcia de la A-92 norte.

Autores: Armando Cernuda(*), Angel Recio (**), Rafael López (***) y José Javier García(****).

RESUMEN

La sección del firme del tramo Chirivel - límite de provincia con Murcia, inaugurado en Junio de 1997 y que cierra la A-92 norte, contemplaba la realización de las capas bituminosas del tronco de la autovía mediante mezclas con betunes modificados con polímeros, en concreto polietileno.

En total se han puesto en obra más de 286.000 Tm de mezcla bituminosa modificada, con un contenido total de betún modificado con polietileno superior a las 14.300 Tm, fabricado por Ditecpesa, empresa del grupo Ferrovial.

Por un lado se ha utilizado polietileno reciclado de techos de invernadero como modificador de betún asfáltico lo que hace que tenga un valor ecológico considerable, y por otro se ha obtenido una mezcla asfáltica con unas propiedades mas adecuadas a la climatología de la zona, con grandes cambios de temperatura, que una mezcla asfáltica convencional.

Se obtuvo un betún asfáltico con un amplio intervalo plástico, lo que le hace más resistente a los cambios de temperatura. La mezcla asfáltica fabricada con betún modificado con polietileno resulta tener una elevada resistencia a las deformaciones plásticas así como una gran adhesividad.

De esta manera se logra un proyecto donde hay un marcado interés medioambiental conjuntamente con una serie de mejoras técnicas en la obra.

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ferrovial S.A.

(**) Ditecpesa S.A. Grupo Ferrovial.

(* **) Licenciado en Ciencias Químicas. Ditecpesa S.A.

(*** *) Licenciado en Ciencias Químicas. Ditecpesa S.A.

“ BETUNES MODIFICADOS CON POLIETILENO EN EL TRAMO CHIRIVEL (ALMERÍA) - LÍMITE DE PROVINCIA CON MURCIA A-92 NORTE ”

1.- INTRODUCCIÓN.

La mayoría de los problemas que presentan los betunes asfálticos a temperatura de servicio son consecuencia de su termoplaticidad, pero esta propiedad es imprescindible para la fabricación de la mezcla asfáltica y posterior puesta en obra. Así lo que tratamos de conseguir son betunes modificados que se comporten termoplásticamente a las temperaturas de mezcla y compactación y que por otro lado, presenten una menor susceptibilidad térmica en las temperaturas de servicio.

La modificación de betunes asfálticos con polímeros tiene como objetivo mejorar la deformación del aglomerado asfáltico disminuyendo la susceptibilidad térmica y la fatiga.

La dificultad de este proceso proviene de que es necesario utilizar polímeros capaces de conseguir estas mejoras y que sean compatibles con el betún en toda la gama de temperaturas, desde las normalmente usadas en la mezcla hasta las temperaturas de servicio, aportando características diferentes en estos dos intervalos de temperatura.

Partiendo de un enfoque medioambiental nace la idea de utilizar polietileno reciclado en la modificación de betunes asfálticos. En la obra “Chirivel (Almería) - Límite de provincia con Murcia” de la A-92 norte el pliego exigía utilizar polietileno reciclado en la fabricación de la mezcla bituminosa. En esta región se utiliza una gran cantidad de techos de invernadero de plástico fabricados con polietileno con lo que la situación se tornaba idónea para utilizar este producto como polímero para la modificación del betún.

La necesidad de utilizar betún modificado en la construcción del firme surge como consecuencia de las condiciones meteorológicas de la zona que presenta acentuados cambios de temperatura a lo largo del año.

La finalidad del trabajo era fabricar un betún modificado que se ajustase a las características exigidas por el pliego de prescripciones técnicas de la obra.

<u>Característica</u>	<u>Método</u>	<u>Valor</u>
-Penetración (100grs, 5 seg, 25°C).	NLT-124	63 O.lmm.
-Punto de reblandecimiento, anillo y bola.	NLT-125	55.2°C.
-Índice de penetración.	NLT-181	+0.6.
-Punto de fraass.	NLT-182	-10.0°C.
-Densidad relativa (25°C/25°C)	NLT-127	1.033.
-Viscosidad, SSF	NLT-133	<u>Temperatura Segundos</u>
		160°C 210.0
		170°C 147.0
		180°C 102.0
		190°C 75.0

2.- ELABORACIÓN DEL POLIETILENO RECICLADO.

Del esmero y seguimiento que se realice sobre la fabricación del polietileno reciclado dependerá en gran medida los resultados finales que se obtengan en el betún modificado. Conseguir un polietileno reciclado con las mejores características y una continuidad en sus propiedades físico-químicas es fundamental puesto que ello hará que posteriormente el proceso de modificación del betún sea más fácil. Para ello es necesario un suministro que garantice esto con continuos ensayos del polímero fabricado.

El polietileno que constituye los techos de invernadero usados esta parcialmente degradado teniendo cadenas moleculares fracturadas y unidas entre si a consecuencia de procesos de oxidación lo cual hace que se forme una red molecular que provoca que la dureza sea mayor que la de un polietileno virgen. Así es necesario una preselección del material de partida que se vaya a utilizar como materia prima para la producción del polietileno reciclado.

Básicamente el proceso de obtención del polímero reciclado consiste en introducir todo el polietileno usado, previo lavado, en un aparato denominado extrusora en el cual todo el material se funde a altas temperaturas y cuyo resultado es un polietileno parcialmente regenerado químicamente. En la obtención del polímero hay una característica a la que se debe prestar una especial atención, el “índice de fluidez”, este nos da una idea de lo fluido que se encuentra un material a una temperatura dada.

El valor numérico del índice de fluidez presenta la cantidad de materia que fluye a una temperatura, bajo un peso, por un orificio de un diámetro, y en un tiempo dado; así un valor de 0.00 gr/min significa que el material en esas condiciones no fluye. El método de ensayo del índice de fluidez viene recogido en la norma UNE-53-200-83 “determinación del índice de fluidez de polímeros”. En función del tipo de material a ensayar hay definidas unas condiciones de ensayo, en el caso del polietileno, diámetro de boquilla 2,100 mm, temperatura de ensayo 190°C, tiempo de ensayo 600 seg y una carga nominal de 2,16 kg.

En la mezcla de polímeros con el betún para obtener betunes modificados, interesa que el índice de fluidez del polímero sea lo más alto posible ya que a mayor índice de fluidez menor será la diferencia de viscosidades entre el polímero y el betún favoreciendo así el proceso de mezcla betún-polímero.

También resulta interesante realizar pruebas de soplado para evaluar su comportamiento elástico, este ensayo se realiza mediante la norma UNE-53-165-86 “determinación de las propiedades en tracción de películas” En este ensayo se fabrican probetas de plástico y se someten a un esfuerzo, en función del esfuerzo y la deformación que se produce en el material se determinan las características elásticas de este. Asimismo es útil un análisis visual de comportamiento del material plástico, un plástico de calidad se comportará de manera homogénea en el proceso de alargamiento mientras que un plástico mal confeccionado presentará un comportamiento heterogéneo.

A continuación se recoge la ficha de las características técnicas del polietileno reciclado utilliado:

- Material : polietileno reciclado de techos de invernadero
- Forma de presentación : granza.
- Color : translúcido/amarillento.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

a) De la granza.

Característica	Norma UNE	Unidades	Valor
Densidad	53-200-83	gr/cm ³	0,92-0,94
Índice de fluidez	53-200-83	gr/10 min	0.4 (± 20%)

b) del film de 50 micras de espesor fabricado con la granza

Característica	Norma UNE	Unidad	Valor
Resistencia a la rotura por tracción	53-165-86	Kg/cm ³	II > 150 ⊥ > 140
Alargamiento a la rotura por tracción	53 - 165 - 86	%	II > 150 ⊥ > 140

Esta ficha se verificaba en todas las producciones de polietileno que se realizaban y de esta manera se ejecuta un control de calidad adecuado sobre la fabricación del polietileno reciclado.

En la siguiente foto se puede ver el resultado del ensayo del índice de fluidez, en la parte superior tenemos la cantidad de polietileno reciclado que ha fluido bajo las condiciones de ensayo 0,42 gr/10 min. En la parte inferior hay un resultado nulo de otro plástico, 0,00 gr/10 mm..

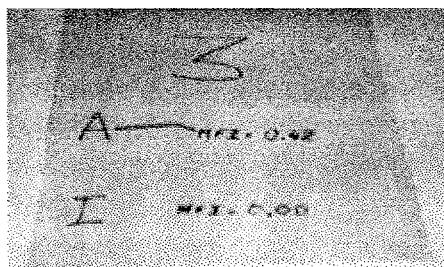


Foto 1. Índices de fluidez.

A continuación vemos dos pruebas del ensayo de soplado, vemos el comportamiento más homogéneo del polietileno superior mientras el de la parte inferior de la fotografía presenta un comportamiento muy irregular.

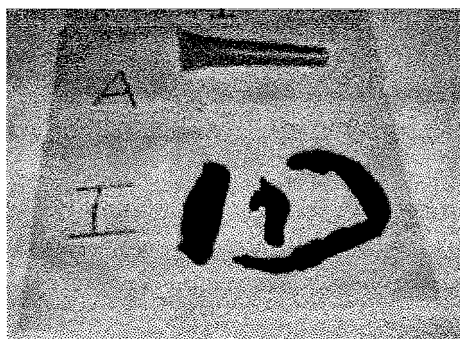


Foto 2. Prueba de soplado.

3.- FABRICACIÓN DE BETÚN MODIFICADO.

El principal aspecto que hay que tener en cuenta a la hora de fabricar betún modificado con polietileno es que este polímero tiene un bajo índice de fluidez que se traduce en fenómenos de flotación del polietileno en cuanto cesa la agitación del betún modificado fabricado. Esto nos lleva a tener un producto que presenta una baja estabilidad al almacenamiento. Ahora bien, no debe confundirse el hecho de la alta dificultad existente en la fabricación de betún modificado con polietileno con que no se pueda obtener una mezcla, que en continua agitación, cumpla todas las especificaciones exigidas y posea una calidad excelente.

La forma de eliminar el problema de la estabilidad al almacenamiento es instalando una planta móvil de betún modificado al pie de la planta de aglomerado, con objeto, de asegurar la completa estabilidad de la dispersión al evitarse cualquier tipo de transporte y almacenaje. En esta ocasión se instaló una moderna planta que dispone de dos tanques de 15 Tm cada uno, para el almacenamiento de betún modificado, acondicionados con agitador horizontal helicoidal; de esta forma se puede almacenar el betún modificado sin problemas de estabilidad al almacenamiento. El sistema de dosificación del polímero en el betún es mediante un tornillo sin fin de regulación automática que esta controlado por una báscula de caudal variable en línea con contador másico ; todo ello llega a un tanque de premezcla donde el modificador y el betún tienen una primera toma de contacto alcanzando en este la temperatura de dispersión. Del tanque de premezcla el betún y el polímero pasan por el molino rotor-stator en donde se produce la dispersión del polímero. Todo el sistema esta controlado mediante un ordenador que es el encargado de dosificar los porcentajes que se utilicen. Esta instalación puede producir 18 toneladas por hora de betún modificado dependiendo de las características del mismo. La planta es totalmente versátil en cuanto a su uso y permite pasar el betún por el molino tantas veces como se estime oportuno.

Después de realizar un estudio sobre las posibilidades de síntesis del betún modificado en función del betún madre, porcentaje de polietileno y tratamiento en el molino rotor-stator se llegó a la conclusión de que el método ideal para satisfacer las características técnicas descritas por la obra era a partir de un betún 80/100 adicionando un 5 % de polietileno.

Tabla 1. Modificación betún 80/100 con polietileno,

% polietileno	Penetración NLT- 124	Anillo y boIa NLT-125
4	73	54
5	63	58
	52	60

La temperatura elegida para la dispersión del polietileno fue elevada, en torno a 195°C. Dada la poca reactividad química del polietileno no había peligro de posibles reacciones químicas con el betún o descomposición del polímero en algunas de las fases constituyentes del betún.

Dado el estricto seguimiento que era necesario en la producción se montó un laboratorio móvil a pie de planta en donde se analizaba continuamente el betún modificado obtenido. Para ello se hacían los ensayos convencionales de **caracterización** de ligantes y también se analizaba la dispersión obtenida mediante un microscopio de fluorescencia con el que se puede observar la homogeneidad de la mezcla fabricada. En la foto 3 se puede ver una dispersión incorrecta del

polímero en el betún : el polímero se ha dispersado heterogéneamente cuya consecuencia será un comportamiento irregular de las propiedades de un betún fabricado con esta dispersión.

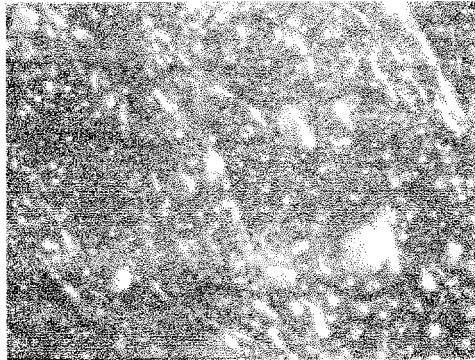


Foto 3. Microscopia de fluorescencia de polietileno. Dispersión heterogénea.

En la foto 4 se aprecia una dispersión de polietileno homogénea :con una dispersión como esta conseguimos una mezcla con un comportamiento uniforme de sus propiedades.

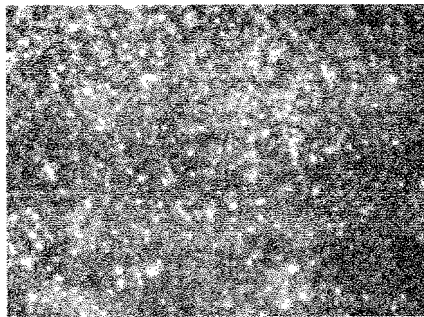


Foto 4. Microscopia de fluorescencia de polietileno. Dispersión homogénea.

Después de realizar ensayos sobre muestras correcta e incorrectamente dispersadas se llegó a la conclusión de que la calidad de la mezcla betún-polímero es directamente proporcional a la calidad de la dispersión obtenida.

4,- CARACTERÍSTICAS DEL BETÚN MODIFICADO CON POLIETILENO.

El betún obtenido cumplía las especificaciones técnicas del pliego de la obra que se indicaban en la introducción del presente estudio. Es destacable el buen intervalo plástico que presenta el betún producido como consecuencia del buen comportamiento del polietileno a altas temperaturas que se traduce en un aumento del punto de reblandecimiento. También es importante que el ligante obtenido presenta un aumento de la viscosidad , con lo que se deben

aumentar en torno a 5/10°C las temperaturas de mezcla en la planta de aglomerado así como en la puesta en obra. De tal forma que la temperatura de la mezcla en el tambor estaba en los 160-170°C, llegando a obra a unos 155 °C.

5.- CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA ASFALTICA.

Con objeto de conocer el comportamiento mecánico del aglomerado producido se realizaron una serie de ensayos que pasamos a describir a continuación.

5.1.- Caracterización de una mezcla G-20.

En este estudio se pretende comparar el comportamiento de una mezcla asfáltica fabricada con betún modificado con polietileno con respecto al de un betún puro de penetración 60/70.

La mezcla se realizó con el árido calizo de la obra el cual presentaba las siguientes granulometrias que se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Granulometrias.

	% pasa tamiz UNE (mm)							
	25	20	12.5	10	5	2.5	0.32	0.080
Tamaño 20/25	100	33	0.6					
Tamaño 12.5/20		100	14	0.6				
Tamaño 5/12.5			100	63	1.2			
Tamaño 0/5				100	97	63	20	13

La granulometría de la mezcla seleccionada se ha ajustado al límite superior del huso G-20, donde esta se solapa con el huso S-20.

La dosificación ponderal de los áridos seleccionados es la siguiente:

- 46% arena 0/5
- 25% grava 5/12.5
- 15% grava 12.5/20
- 14% grava 20/25

A continuación se recoge la granulometria de la fórmula de trabajo:

Tamaño UNE (mm)	25	20	12.5	10	5	2.5	0.63	0,080
% que pasa	100	91	73	62	44	29	13	6

5.1.1.- Ensayo Marshall.

Con la granulometria anterior se fabricaron una serie de probetas Marshall con betún modificado con polietileno y betún 60/70. Las series de probetas fueron fabricadas con el 4,4.5,5.5y 6% de ligante sobre los áridos. Los resultados del ensayo aparecen recogidos en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Resultados ensayo Marshall. Mezcla G-20 con betún 60/70.

Características	BETÚN (%)				
	4	4.5	5	5.5	6
Densidad media (gr/cm ³)	2.399	2.426	2.442	2.425	2.417
Estabilidad (kg)	1616	1560	1678	1555	1406
Módulo Marshall (kg/mm)	1000	870	770	625	476
Deformación (mm)	2.1	2.2	3.0	3.2	3.5
Huecos mezcla (%)	5.8	4.9	3.1	2.5	2.2
Huecos áridos (%)	14.5	14.7	14.0	14.6	15.2

Tabla 4. Resultados ensayo Marshall. Mezcla G-20 con betún modificado con polietileno

Características	BETÚN (%)				
	4	4.5	5	5.5	6
Densidad media (gr/cm ³)	2.380	2.398	2.404	2.408	2.402
Estabilidad (kg)	1857	1858	1678	1531	1440
Módulo Marshall (kg/mm)	1250	1250	1000	770	740
Deformación (mm)	2.2	2.4	2.5	2.7	2.9
Huecos mezcla (%)	6.1	4.7	3.7	3.0	2.7
Huecos áridos (%)	15.0	14.7	14.9	15.1	15.7

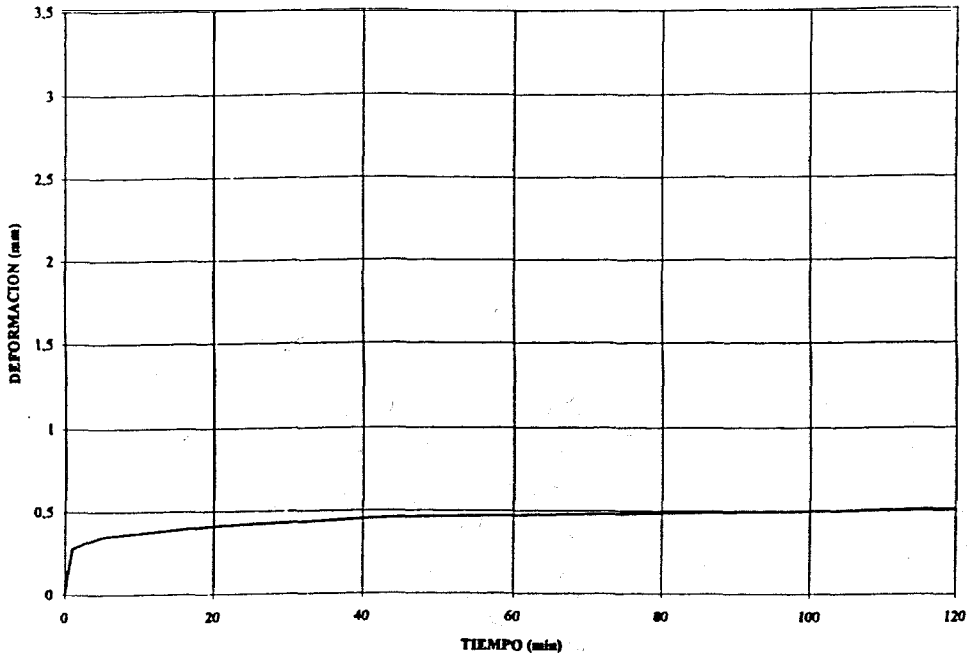
Se observa una menor deformación en las mezclas fabricadas con contenidos del 5% o superiores de betún modificado con polietileno, y una mejora del módulo Marshall. También se aprecia que el empleo del betún modificado permite aumentar el porcentaje de ligante en las mezclas. Así para el 5% de betún puro estamos, según el PG-3, en el límite de especificaciones en cuanto a los huecos y a deformaciones, mientras que con el betún modificado se puede llegar hasta el 5.5%.

5.1 .2.- Ensayo máquina en pista.

El ensayo de máquina en pista se realizó sobre probetas de mezcla fabricadas con el 5% de betún modificado, con el fin de conocer la resistencia de la mezcla a las deformaciones plásticas en el caso de emplear un contenido alto de ligante. Un aumento del contenido de ligante mejora la resistencia a la fisuración por fatiga y al envejecimiento de la mezcla, pero esto ha de conseguirse sin detrimento de su resistencia a las deformaciones plásticas.

Los resultados ponen de manifiesto que la mezcla es muy resistente a las deformaciones plásticas para este contenido de betún, con una velocidad de deformación en el ensayo en pista en el intervalo de 105 a 120 minutos de 1 $\mu\text{m}/\text{min}$. Tal como se ve en el gráfico 1.

gráfico 1



5.2.- Ensayo sobre testigos. Resistencia a tracción indirecta.

Con posterioridad a la realización del firme se extrajeron una serie de testigos circulares de 10 cm de diámetro y unos 23 cm de altura, que se sacaron del firme. Estos testigos fueron serrados para separar sus tres capas: rodadura., mezcla S-12; intermedia, mezcla G-20 y base, mezcla G-25. Las probetas correspondientes a cada capa fueron rotas a 5°C a tracción indirecta según la NLT-346/90, determinándose las resistencias en seco y tras inmersión de la mezcla. La inmersión de las probetas se realizó en agua a 60°C durante 24 horas.

La resistencia alcanzada depende de la naturaleza del mástico bituminoso y de la composición y compacidad de la mezcla. Una baja resistencia pondría de manifiesto una baja cantidad o calidad del mástico o bien una mala compactación de la mezcla. Realizar este ensayo sobre testigos que han permanecido 24 horas en agua a 60°C, indica la resistencia del mezcla a la acción de desvuelta del agua. Al comparar las resistencias obtenidas en seco y tras inmersión suele pedirse una resistencia conservada del 75 %

Los valores medios obtenidos en la rotura de estos testigos son los que aparecen en la tabla 4.

Tabla 4. Valores medios obtenidos en la rotura de testigos.

	Rodadura	Intermedia	Base
Resistencia en seco (kg/cm ²)	17.7	21.4	23.0
Resistencia en húmedo (kg/cm ²)	14.4	22.3	23.6
Resistencia conservada (%)	81	104	102

Vemos que la resistencia conservada en es todos los casos superior al 80 % lo que nos indica que la adhesividad de las mezclas fabricadas con el betún modificado con polietileno es muy alta.

6.- CONCLUSIONES.

- Es necesario hacer un seguimiento estricto de la elaboración del polietileno reciclado para garantizar la continuidad de las propiedades exigidas.

- El polietileno mejora el comportamiento a altas temperaturas de la mezcla, esto se traduce en una mejora considerable del punto de reblandecimiento aumentando así el intervalo plástico.

- Debido a la baja estabilidad al almacenamiento del betún modificado con polietileno es necesario minimizar el tiempo entre la fabricación y la utilización en la planta de aglomerado. Esto se puede solventar teniendo una instalación móvil de fabricación de betunes modificados.

- El polietileno aumenta la viscosidad del ligante por lo que se deben aumentar en torno a 5/10°C las temperaturas de mezcla en la planta de aglomerado así como en el extendido en obra respecto a las de una mezcla convencional.

- En mezclas fabricadas con contenidos de betún modificado con polietileno del 5% o superiores se observa una menor deformación Marshall Asimismo se aprecia una mejora del módulo Marshall.

- La mayor resistencia de la mezcla fabricada con polietileno a las deformaciones plásticas que se pone de manifiesto en el ensayo de la máquina en pista donde en el intervalo de 105 a 120 minutos de una mezcla tipo G-20 fabricada con el 5% de betún modificado con polietileno es de 1µm/min.

- A causa' de la poca reactividad química del polietileno este presenta una mayor resistencia a procesos de oxidación lo que hace que la durabilidad de la carretera mejore a largo plazo.

- La adhesividad de las mezclas fabricadas con el betún modificado con polietileno es muy alta tal y como pone de manifiesto la resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta. entre un 80- 100%.

7.- BIBLIOGRAFÍA

-Félix Pérez Jiménez, "Análisis de las características mecánicas : resistencia a las deformaciones plásticas de las mezclas bituminosas empleadas en la pavimentación de la autovia A-92, tramo Chirivel - límite de provincia de Murcia", Departamento de infraestructura del transporte y territorio, Universidad Politécnica de Cataluña, Mayo 1997.

- Hesp, S. A. and Woodhams, R. T., "Stabilization Mechanisms in Polyolefin-Asphalt Emulsions", Polimer Modified Asphalt Binders, ASTM STP 1108, Kenneth R.Wardlaw and Scott Smuler, Eds, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992.

- Jew P. and Woodhams R.T., "Polyethylene Modified Bitumens for paving Applications". Asphalt Paving Technology, 55, pp. 541-63, 1986.