

# UTILIZACION DE MATERIALES NO CONVENCIONALES EN FIRMES FLEXIBLES

JOSE MARIA MUÑOZ CEBRIAN (\*)

**RESUMEN.** El empleo de materiales no convencionales en la construcción de carreteras, dado el volumen considerable de éstos que puede absorber este tipo de obras, no constituye solamente una alternativa más a los medios tradicionales, pues aparte de ventajas de orden técnico, presenta otras como el aprovechamiento de residuos mineros, industriales o urbanos, con la consiguiente repercusión en la conservación de recursos naturales, ahorro económico y protección del medio ambiente.

**ABSTRACT.** *The use of non-conventional materials in road construction, given the considerable volumen of this kind of work can use, is not merely another alternative to traditional means but apart from the advantages of the technical nature also presents others such as the use of mining, industrial and urban waste with the consequent saving of natural resources, economic saving and protection of the environment.*

En 1975 se creó en el seno de la O.C.D.E. un grupo de estudio para el análisis del problema, tanto técnico como económico, del aprovechamiento de desechos y subproductos industriales como materiales no convencionales en la construcción de carreteras. Desde entonces, no ha cesado ya el interés general por estos temas, los trabajos de investigación al respecto, ni la aplicación de estos materiales en este campo de la ingeniería.

Pero como pasa en muchos otros aspectos de la actividad humana, el empleo de estos materiales en la construcción de carreteras no ha sido ninguna novedad. Desde que a principios de siglo se empezaron a aplicar conceptos estructurales modernos en la construcción de caminos, se utilizaron ya, y con un éxito relativo, materiales tales como escorias de alto horno, desperdicios de madera (hasta con granulométría, serrín-asfalto, residuos de escombreras de minas, azufre, y bastantes más. Casi todos estos sistemas constructivos respondían a patentes más o menos complicadas que detallaban la forma de aplicación de estos materiales que entonces aún no se consideraban como no convencionales, ya que los materiales que empezaban a utilizarse normalmente tampoco habían alcanzado todavía la categoría de tradicionales.

Ahora bien, el verdadero desarrollo e interés, o más bien la necesidad actual de un empleo masivo de estos materiales, se debe, fundamentalmente, al enorme desarrollo industrial habido en los últimos años en todas las áreas de la tecnología, con la consiguiente elevación del nivel de vida, que ha producido una serie de nuevos materiales, subproductos y desechos de todo tipo, que hay

que buscarles alguna aplicación por los problemas que se derivan de una acumulación cada vez mayor de los mismos, que repercute directamente en los aspectos ecológicos, energéticos y económicos, puntos clave de la sociedad actual.

El objetivo es atractivo, y constituye un reto a la investigación, si se quiere luchar contra la escasez de materiales básicos y recursos naturales, la degradación del medio ambiente y el consumo incontrolado de energía, por lo que deben potenciarse e intensificar las investigaciones necesarias para encontrar las aplicaciones tecnológicas más adecuadas que puedan absorber grandes cantidades de estos materiales en la construcción de carreteras, ya que es éste el sector de mayor consumo de materiales dentro de las obras públicas.

En la tabla 1 se recogen los materiales más representativos con su porcentaje aproximado de producción, y sus posibles aplicaciones, o mejor dicho, de aquellas aplicaciones de las que se tiene alguna experiencia, fundamentalmente en nuestro país, lo cual no impide que estudiados más a fondo se pueda ampliar más su campo de utilización.

Como puede apreciarse, y prescindiendo de su empleo en otros campos de la construcción o de la industria en general en que quizá pudieran ser más adecuados, la técnica de carreteras es capaz de absorber grandes cantidades de estos materiales en un amplio abanico de posibilidades y con unos resultados, en principio, comparables a los obtenidos con materiales tradicionales.

De todas formas las posibilidades de empleo de estos materiales están condicionadas a una serie de factores de carácter general que se deben considerar para cada caso concreto de aplicación y que pueden resumirse en los que se recogen en la tabla 2.

Dada la amplitud del tema objeto de esta exposición, se va a comentar aquí lo que se refiere solamente al pa-

PI Dr. en Ciencias Biológicas y licenciado en Ciencias Químicas. Jefe de la División de Normalización y Ensayo de Materiales del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX IMOPUI.

# CARRETERAS Y AEROPUERTOS

| %  | DESECHOS                                                                                                                                                                                     | TERRAPLENES           | EXPLANADAS        | ESTABILIZACIONES | BASES Y SUBBASES | MEZCLAS BITUMINOSAS |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------|
| 81 | <b>Residuos mineros y metalúrgicos</b><br>— DESECHOS DE MINAS DE CARBÓN<br>— DESECHOS DE CANTERA<br>— ESCORIAS DE ALTO HORNO<br>— ESCORIAS DE ACERÍA<br>— ESCORIAS DE COBRE, PLOMO, MERCURIO | X<br>X<br>X<br>X<br>X | X<br>X<br>X       | X                | X<br>X<br>X      | X<br>X<br>X         |
| 15 | <b>Residuos industriales</b><br>— CENIZAS VOLANTES<br>— CENIZAS DE FONDO<br>— FOSFOYESO<br>— AZÚFRE                                                                                          | X<br>X                | X<br>X            | X<br>X           | X<br>X           | X<br>X<br>X         |
| 4  | <b>Residuos urbanos</b><br>— RESIDUOS DE INCINERACIÓN<br>— CAUCHO<br>— PLÁSTICOS<br>— VIDRIO<br>— MATERIALES DE DERRIBO                                                                      | X<br><br><br><br>X    | <br><br><br><br>X | X                | X<br><br><br>X   | X<br>X<br>X<br>X    |
|    | <b>OTROS MATERIALES</b><br><b>Nuevos materiales</b><br>— MATERIALES POLIMÉRICOS<br>— ÁRIDOS ARTIFICIALES                                                                                     |                       |                   |                  |                  | X<br>X              |
|    | <b>Materiales marginales</b><br>— ÁRIDOS                                                                                                                                                     | X                     | X                 | X                | X                | X                   |
|    | <b>Pavimentos envejecidos</b><br>— SIN RECLAR<br>— RECLADOS                                                                                                                                  | X                     |                   |                  | X                | X                   |

**TABLA 1.** Materiales no convencionales que pueden tener aplicación en la construcción de carreteras.

vimiento, y más concretamente a aquellos aspectos del mismo en que se tiene alguna experiencia en el Centro de Estudios de Carreteras (C.E.C.).

De acuerdo, pues, con este criterio y la clasificación

**Aspecto técnico**  
VARIABILIDAD INTRÍNSECA  
DESCONOCIMIENTO DE PROPIEDADES  
EXPERIENCIA PREVIA  
CONTROL DE CALIDAD ACONSEJABLE  
POSIBLES ESPECIFICACIONES  
ESTABILIDAD FÍSICO-QUÍMICA  
INESTABILIDAD A LOS AGENTES ATMOSFÉRICOS  
SELECCIÓN DE PARÁMETROS A CONSIDERAR  
TECNOLOGÍA A APLICAR

**Aspecto económico**  
OTRAS APLICACIONES MÁS RENTABLES  
TRANSPORTE  
VOLUMEN DE PRODUCCIÓN  
LOCALIZACIÓN  
INVENTARIO DE RECURSOS  
AHORRO DE RECURSOS NATURALES  
AHORRO ENERGÉTICO

**Aspecto ambiental**  
RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS Y TERRENOS  
PRODUCTOS AGRESIVOS A OTRAS ESTRUCTURAS  
PROTECCIÓN DE LA NATURALEZA  
IMPACTO SOCIAL

**TABLA 2.** Factores a considerar previamente.

anterior, se comenta a continuación brevemente la experiencia que se tiene con los materiales siguientes:

1. Materiales poliméricos: termoplásticos y elastoméricos.
2. Residuos urbanos: plásticos.
3. Residuos industriales: azufre y cenizas volantes.
4. Residuos metalúrgicos: siderúrgicos y no siderúrgicos.
5. Pavimentos bituminosos envejecidos: reciclado.

## 1. MATERIALES POLIMÉRICOS

Su empleo fundamental en pavimentos está dirigido a la modificación de las propiedades reológicas de los materiales bituminosos con vistas a mejorar su comportamiento ante las deformaciones plásticas de las mezclas fabricadas con estos ligantes. Los cambios en las propiedades producidas dependen del tipo y proporción del polímero y del método de incorporación, así como de la naturaleza y composición del ligante, tratando de conseguir con el tiempo una dispersión molecular del polímero.

Para casi todos los polímeros comerciales, como PVC, polietileno, polipropileno, cauchos naturales y sintéticos, resinas epóxi, Chemcrete, etc., se han desarrollado trabajos de investigación para su aplicación y de algunos se tienen, también, resultados experimentales de



obras en las que se han utilizado estos ligantes modificados.

Como ejemplo de este tipo de modificación de los materiales bituminosos con polímeros termoplásticos y elastoméricos, se dan a continuación algunos de los resultados obtenidos por B. RUBIO del C.E.C.

Se trata de un betún asfáltico tipo 80/100 de base fundamentalmente nafténica que ha sido modificado con seis tipos de polímeros:

1. Polietileno (A) (PE).
2. Polietileno (B) (PE).
3. Polipropileno (PP).
4. Caucho natural (NR).
5. Caucho de butadieno-estireno (SBR).
6. Copolímero de etileno-acetato de vinilo (EVA).

Se han seleccionado dos parámetros en los que se pone de manifiesto el efecto de estos aditivos sobre las propiedades reológicas del betún tratado: la penetración y el índice de penetración contra el contenido de polímero (figs. 1 y 2).

Puede observarse cómo disminuye la penetración de acuerdo con el tipo de polímero empleado y su proporción y cómo, también, se consigue una mejora muy considerable del índice de penetración.

En resumen, la mejora de los betunes asfálticos por incorporación de materiales poliméricos se pone de manifiesto por una menor influencia de la temperatura sobre la viscosidad, lo que supone una mejora de la susceptibilidad térmica. Lo dicho para el ligante modificado se puede extender al comportamiento de las mezclas bi-

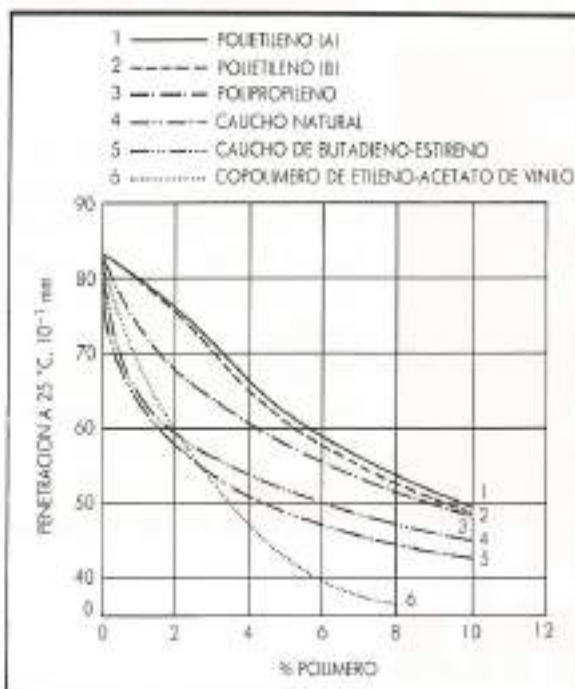


FIGURA 1. Influencia del tipo y contenido de polímero sobre la penetración a 25 °C.

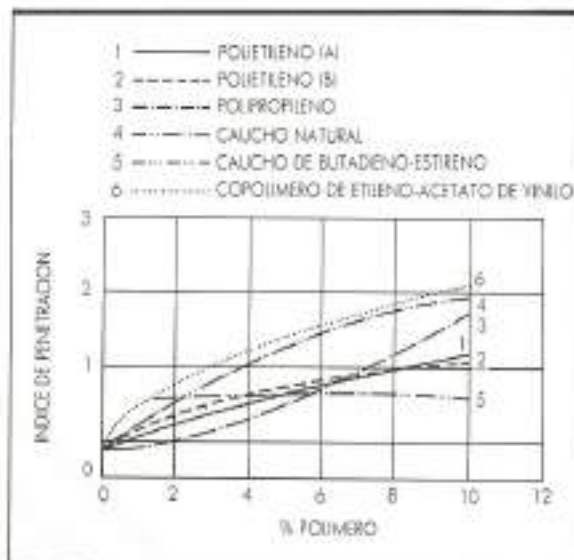


FIGURA 2. Influencia del tipo y contenido de polímero sobre el índice de penetración (Fessler y Van Doornal).

tuminosas fabricadas con estos ligantes, respecto a su comportamiento mecánico y reológico. La proporción normal de polímero oscila entre 3 y 5 % sobre ligante.

Como inconvenientes, sólo puede decirse el costo adicional que supone pero que tiene su justificación, fundamentalmente, en tramos singulares de carreteras y en zonas climáticas en que sean previsibles problemas de deformaciones plásticas. Otro problema no resuelto todavía satisfactoriamente es la forma de controlar el tipo y cantidad de polímero definido para una obra determinada.

Otro material de tipo polimérico pero que no puede incluirse entre los anteriores por su diferente naturaleza química y comportamiento, es el que responde a la denominación de Chemerete, objeto de una patente americana y que está tratando de introducirse en nuestro país. Se trata de un complejo órgano metálico que da lugar con el tiempo a una modificación del betún de tipo polimérico.

Cuando se incorpora el Chemerete al betún se produce primeramente un reblandecimiento importante del mismo, pero que evoluciona con el tiempo recobrando al cabo de un mes su penetración original y después de tres o cuatro meses se estabiliza su consistencia dando una penetración muy inferior a la de partida. Este comportamiento del ligante modificado se traduce en un efecto equivalente en las mezclas bituminosas como puede observarse en las figuras 3 y 4 en que se representa la variación con el tiempo de la penetración del betún y de la estabilidad Marshall (F. DO PINO, C.E.C.).

Como propiedades más características pueden señalarse: una menor temperatura de fabricación, con el consiguiente ahorro de energía; una mayor manejabilidad de la mezcla durante la puesta en obra y unas propiedades reológicas de la mezcla, una vez estabilizada, que le



## LA SIMPLICIDAD DE UNA GRAN FIBRA

Drámix. Fibras de acero para una solidez a toda prueba del hormigón. Producidas en todo el mundo por Bekaert, el especialista por excelencia en alambre de acero. Una garantía de calidad y servicio. Las fibras de acero Drámix se mezclan fácilmente y de manera homogénea. Refuerzan multidireccional-



mente ofreciendo un anclaje perfecto y el mejor rendimiento. El hormigón con fibras de acero Drámix es el material por excelencia para soleras, túneles y explotaciones mineras, estructuras de seguridad, carreteras y tableros de puentes, aeropuertos, puertos y productos prefabricados.

  
**Dramix®**

Drámix® es una marca registrada por NV Bekaert SA, Zaventem (Bélgica).

LA IDEA CONSTRUCTIVA

UBISA  
Polígono de Villalonquejar - Apartado Nº 316 - E-6080 Burgos  
Tel. 47/20 81 40 - Telex 39435 ubisa e - Fax 47/20 22 45

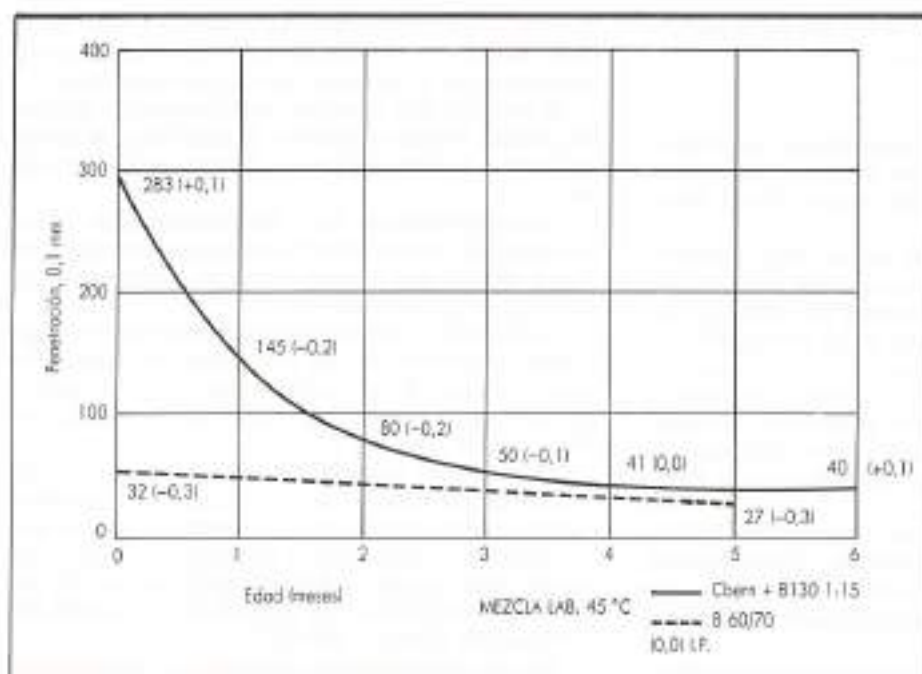


FIGURA 3. Ligante recuperado de las mezclas bituminosas.

permite resistir las deformaciones plásticas permanentes mejor que el ligante sin modificar. Todavía no se ha llegado a unas conclusiones definitivas respecto a su comportamiento.

La experiencia más destacable que se tiene en España del empleo de algunos de estos materiales puede resumirse en la siguiente:

Tratamientos superficiales antideslizantes empleando emulsiones modificadas con materiales poliméricos y

realizados en diferentes áreas geográficas, con resultados satisfactorios.

Un tramo experimental en la CN-1 en la zona de La Cabrera con una mezcla fabricada con un betón modificado con caucho SBR.

Dos tramos experimentales, uno en la provincia de Badajoz y otro en la de Cuenca, con mezcla bituminosa fabricada con betunes modificados con Chemcrete.

Un tramo experimental en la provincia de Cuenca

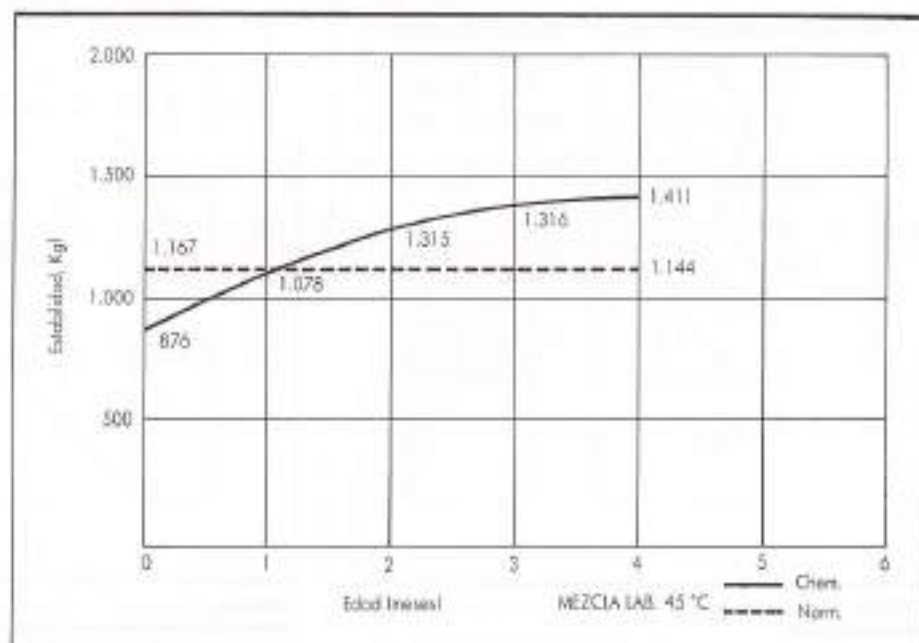


FIGURA 4. Resistencia a la deformación plástica Marshall.



con una mezcla bituminosa fabricada con betún modificado con Novophalt (polietileno).

## 2. RESIDUOS URBANOS

Dentro de las posibilidades de aplicación de los residuos sólidos urbanos a los pavimentos flexibles, nos vamos a referir solamente a los plásticos recuperados en tratamientos especiales.

Lo dicho anteriormente para los materiales poliméricos puede aplicarse a este caso salvo que aquí, uno de los motivos principales es aprovechar un residuo que no serviría más que para emplearlo en los tratamientos de incineración. Por otra parte, habrá que tener en cuenta, como es lógico, que el producto a emplear difiere sustancialmente, en cuanto a forma de presentarse, composición, pureza, etc., de los productos comerciales puros, lo que motivará un planteamiento diferente para su incorporación.

A continuación, por su interés potencial dentro de la problemática creada por los materiales, vamos a resumir un trabajo realizado por M. A. DEL VAL en la Escuela de Caminos de Madrid, fundamentalmente el referido a mezclas bituminosas.

Existen en España (1985), para el tratamiento de residuos sólidos urbanos, 4 plantas de trituración, 37 de compostaje, 5 de incineración y 2 de reciclado.

Una de estas últimas está situada en el vertedero de Valdemingómez de Madrid en la CN-III. Consiste en una planta piloto semi-industrial construida por la Empresa Nacional Adaro con tecnología enteramente nacional.

Esta planta permite el tratamiento integral de los R.S.U. separando cuantitativa y cualitativamente los diferentes materiales, que constituyen estos residuos y entre ellos los plásticos. Puede tener una capacidad de pro-

ducción de unas 200 t/día, de las cuales un 4 % son plásticos totales y un 2 % plásticos-film, que constituye el material capaz de utilizarse en mezclas bituminosas.

El producto final a emplear está formado por virutas de plástico, fundamentalmente de polietileno, de pocos milímetros de longitud, limpias de polvo y desengrasadas.

La incorporación se hace directamente a los áridos calientes a la temperatura de mezcla y posteriormente el betún, sistema que se puede seguir en cualquier planta asfáltica de tipo convencional.

De los muchos parámetros estudiados en este trabajo vamos a comentar sólo dos que pueden ser significativos: la variación de la estabilidad Marshall y la resistencia a compresión simple para varios porcentajes de betún y plástico (figs. 5 y 6).

En el caso de la estabilidad Marshall cabe destacar que las curvas tienen el mismo aire que las correspondientes a mezclas bituminosas convencionales salvo que el máximo se produce para un porcentaje de betún tanto menor cuanto mayor es el porcentaje de plástico. El valor de la estabilidad es muy superior al de la mezcla bituminosa sin aditivo (1.250 Kgf).

Las curvas de resistencia a compresión simple siguen la misma tendencia que las del Marshall, salvo que para porcentajes altos de betún el efecto es insignificante. Las resistencias son también muy superiores a las de la mezcla de referencia.

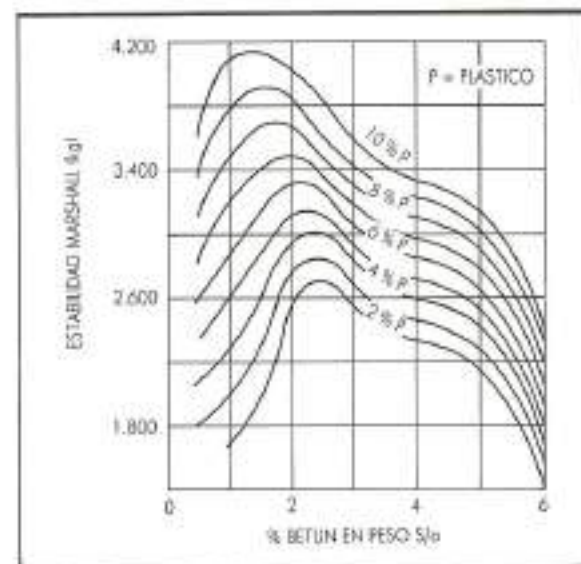


FIGURA 5. Estabilidades Marshall de mezclas con plástico en función del contenido de betún.

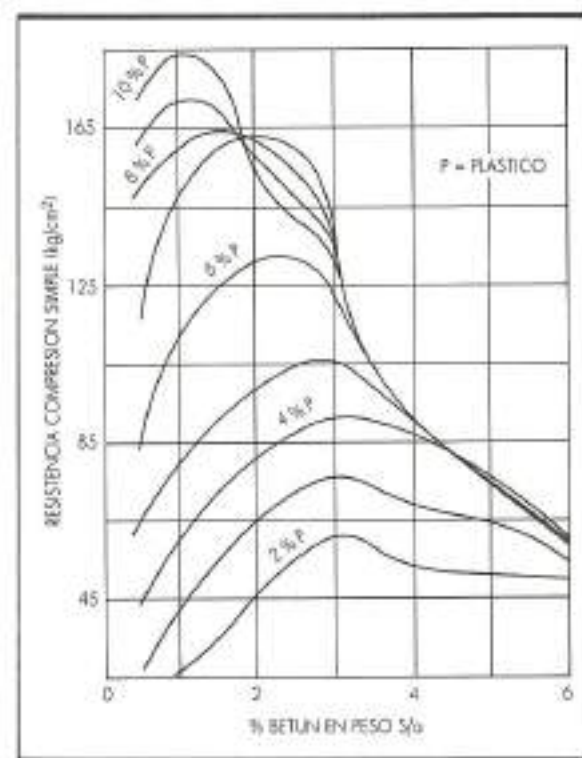


FIGURA 6. Resistencias a compresión de mezclas con plástico compactadas estáticamente en función del contenido de betún.

Cabe señalar finalmente que las mezclas estudiadas tienen un buen comportamiento frente a solicitaciones mecánicas, térmicas y químicas sin representar su fabricación una complicación especial.

Una proporción adecuada para emplear en mezclas bituminosas puede ser del orden del 2-3 %, lo cual supone también un ahorro importante de betún asfáltico.

También se han realizado estudios con zahorras artificiales tratadas hasta con un 9 % de plástico, obteniéndose resistencias muy superiores a otros tipos de estabilizaciones.

### 3. RESIDUOS INDUSTRIALES

#### AZUFRE

Las leyes establecidas en los países industrializados para luchar contra la contaminación atmosférica por productos sulfurados, ha provocado el aumento de la producción mundial de azufre elemental. En España, como consecuencia de los procesos de desulfuración del petróleo, gas natural y de algunos tipos de carbón, y además, el aprovechamiento integral de las piritas se ha pasado a ser uno de los primeros países productores de azufre.

Aunque este elemento tiene muchas otras aplicaciones en el campo industrial, existe un desequilibrio importante entre su producción y consumo que hace necesaria la investigación de nuevas aplicaciones para evitar su acumulación progresiva.

Una de estas aplicaciones, y que sería capaz de absorber grandes cantidades de azufre, es su incorporación a los ligantes bituminosos para su utilización en carreteras.

Con este objeto B. RUBIO, del C.E.C., ha realizado un trabajo de investigación para valorar el efecto que sobre las propiedades reológicas de los betunes asfálticos ejerce la incorporación de azufre en proporciones variables, así como el comportamiento de estos ligantes betún-azufre en mezclas bituminosas. Posteriormente se construyó un tramo experimental a escala natural, con estos materiales, para estudiar su evolución y comportamiento en condiciones reales de tráfico y situaciones ambientales con el fin de valorar las posibilidades reales de los ligantes modificados con azufre en pavimentos asfálticos.

A continuación se resumen brevemente los resultados más interesantes.

**Estudio del ligante.** A un betún de penetración 40/50 calentado a una temperatura de unos 140 °C se le incorporó lentamente el azufre en forma de polvo fino hasta mezcla homogénea. Los ensayos se realizaron inmediatamente después de la fabricación de la mezcla y después de períodos de reposo de hasta un mes, debido a que primero se produce un reblandecimiento y posteriormente un endurecimiento.

En la figura 7 (penetración-% de azufre) puede observarse que la incorporación del azufre provoca un reblandecimiento inicial importante con una mayor susceptibilidad a la temperatura.

En la figura 8 (penetración-tiempo) se observa que

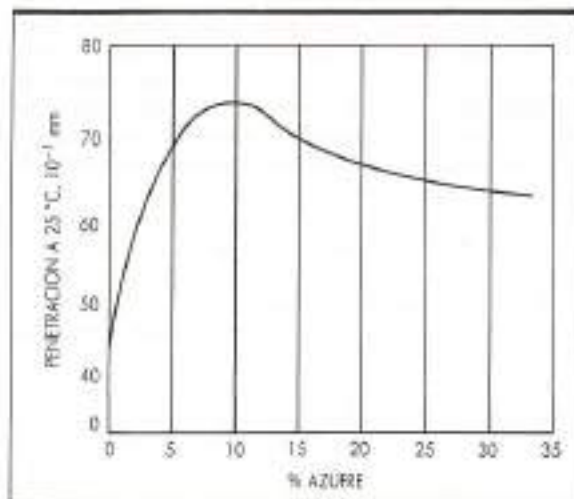


FIGURA 7. Variación de la penetración a 25 °C con la proporción de azufre incorporado.

los ligantes betún-azufre sufren una evolución de su consistencia con el tiempo para todas las proporciones de azufre incorporado que tiende a estabilizarse al cabo de 1 mes. La consistencia final es superior a la del betún base.

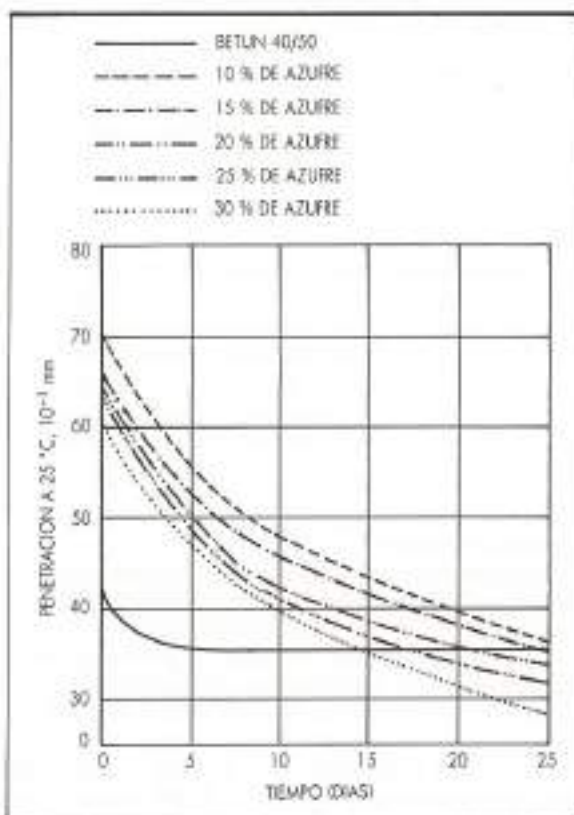


FIGURA 8. Variación de la penetración a 25 °C con el tiempo para distintos contenidos de azufre.



**Estudio de la mezcla bituminosa.** A una mezcla de áridos con granulometría S12 del PG-3 se le agregaba la cantidad establecida de un betún 40/50 a la temperatura normalizada de mezcla y sobre el conjunto se incorporaba directamente la proporción de azufre. Con estas mezclas se realizaron los ensayos mecánicos normalmente empleados para la dosificación de mezclas bituminosas, pero a los 20 días de su fabricación, tiempo considerado suficiente para la estabilización de sus características (consistencia) deducido de los ensayos previos realizados con el ligante modificado puro.

Como características principales puede decirse que transcurrido el tiempo necesario para su estabilización, estas mezclas, con un 30 % de azufre sobre betún dan una estabilidad Marshall similar a la mezcla con betún puro y si se aumenta más la cantidad de azufre la estabilidad aumenta considerablemente. La deformación se comporta de acuerdo con estos resultados.

**Tramo de ensayo.** Se realizó un tramo de ensayo en las proximidades de Madrid con mezclas betún-azufre en el que se confirmó las conclusiones previstas en los estudios anteriores.

Estas conclusiones pueden resumirse así:

- 1.º Independientemente del betún de partida la incorporación de azufre provoca un reblandecimiento inicial.
- 2.º Los ligantes betún-azufre sufren una evolución con el tiempo de su consistencia, estabilizándose alrededor de los 30 días.
- 3.º Una vez estabilizados la consistencia final es mayor que la del betún de partida.
- 4.º Como consecuencia de esto se dispone de un ligante de menor viscosidad inicial que facilita la envuelta y compactación de las mezclas a temperaturas menores que las normalizadas, lo que entre otras cosas supone un ahorro considerable de energía.
- 5.º Las mezclas resultantes son menos susceptibles a las deformaciones plásticas permanentes.
- 6.º La incorporación de azufre a las mezclas bituminosas supone un ahorro importante de betún asfáltico.
- 7.º Existe riesgo de contaminación ambiental durante el proceso de mezcla en las plantas convencionales que puede reducirse trabajando a menor temperatura, riesgo que puede continuar durante la puesta en obra.

#### CENIZAS VOLANTES

Las posibilidades de aplicación de las cenizas volantes a los pavimentos flexibles, se limitan prácticamente a su empleo como filler en mezclas bituminosas.

Las cenizas volantes están dentro del campo de las puzolanas y sus características dependen del carbón quemado, finura, proceso seguido, etc., pero puede decirse en general que poseen unas partículas de forma más o menos redondeada, una densidad relativa baja, una granulometría comparable a la del cemento portland y una naturaleza silicoaluminosa. Estas características hacen que no se pueda considerar como un filler de muy buena calidad, pero tampoco rechazable, aproxi-

mándose bastante a un cemento portland que, dicho sea de paso, tampoco es un filler de gran calidad.

En la tabla 3 se dan unos resultados comparativos de algunos de los ensayos más característicos para valorar la calidad de un filler.

De las propiedades fundamentales que se buscan cuando se incorpora un filler a una mezcla bituminosa son de destacar: las que se derivan de su simple presencia ponderal como relleno y las que modifican las propiedades reológicas del ligante por la dispersión de partículas de muy pequeño tamaño y con actividad superficial. Las cenizas volantes sólo cumplen bien la primera y con dificultad la segunda.

| CARACTERÍSTICAS                        | CENIZAS VOLANTES | CEMENTO     | CAUZA MIOCENO |
|----------------------------------------|------------------|-------------|---------------|
| SUPERFICIE ESPECÍFICA BLAINE, $m^2/g$  | 4.121            | 3.475       | 6.126         |
| DENSIDAD APARENTE EN TOLUENO, $g/cm^3$ | 0.45             | 0.58        | 0.43          |
| DENSIDAD RELATIVA                      | 2.300            | 3.070       | 2.651         |
| COEFICIENTE DE EMULSIBILIDAD           | 0.6              | 0.4         | 0.5           |
| ACTIVIDAD EN PARAFINA                  | 2                | 4           | 27            |
| INVERSION-COMPRESION, R.C. %           | 93               | 100         | 95            |
| PARTÍCULAS MENORES DE 5 $\mu m$ , %    | 20               | 2           | 45            |
| ACTIVIDAD Y FINURA                     | NORMAL           | BAJA-NORMAL | NORMAL-ALTA   |

TABLA 3. Resultados comparativos respecto a dos fillers tradicionales.

En estas cenizas la proporción de partículas con verdadera actividad superficial, capaces de producir un mástico activo que modifique las características reológicas de la mezcla, es menor que en otros fillers aunque mayor que en el cemento, por lo que habrá que tener en cuenta otros factores cuando se proyecten mezclas bituminosas con este tipo de filler.

De todas formas, y como ya se ha indicado al principio, estos fillers bien seleccionados pueden ser fillers comparables al cemento portland pero con menor grado de homogeneidad y constancia de propiedades, y se están empleando desde hace ya algunos años sin que se hayan podido detectar fallos achacables directamente a este material. Tampoco se ha visto que estas mezclas sean más susceptibles al efecto del agua que otras fabricadas con fillers tradicionales.

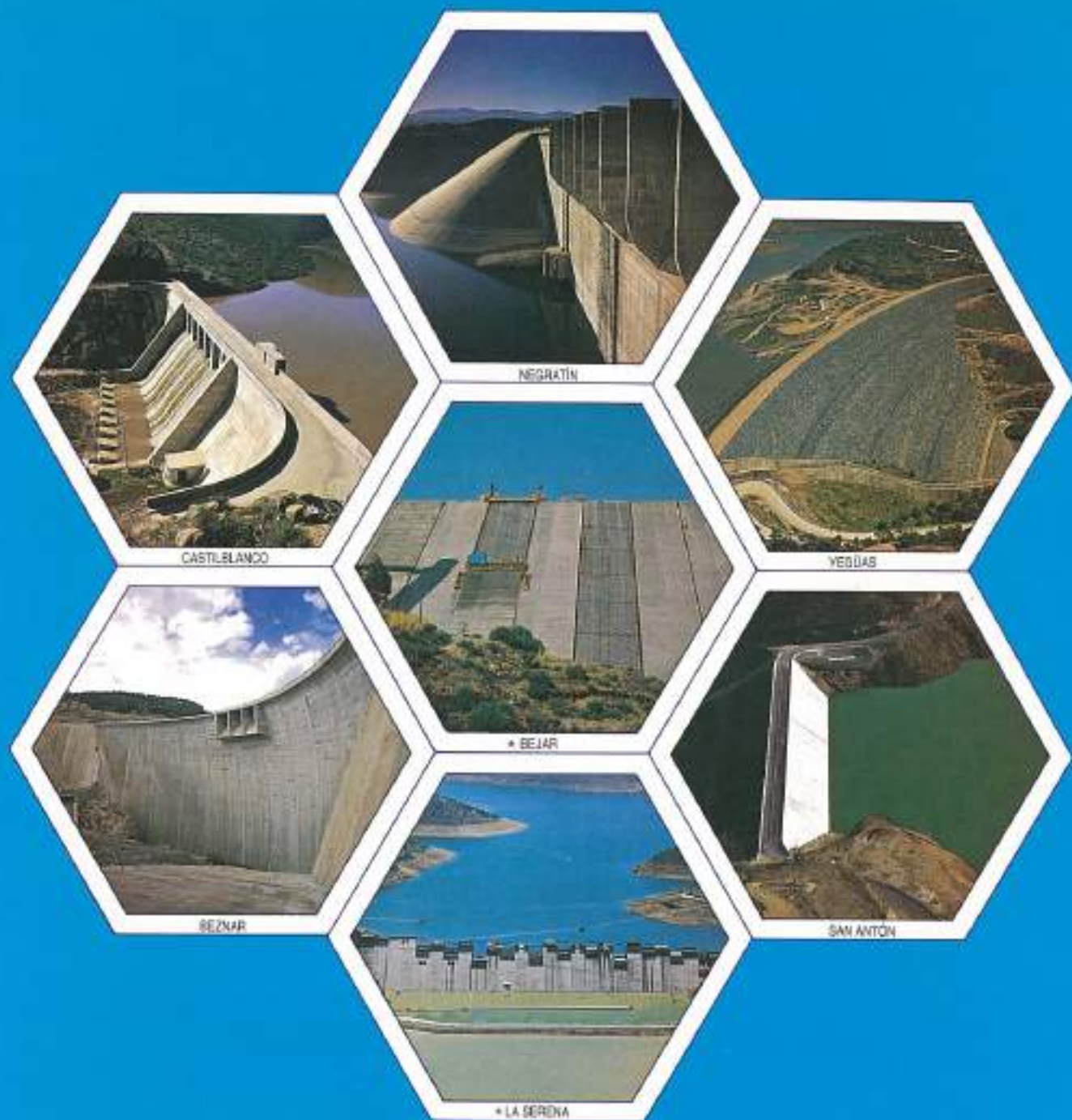
Por otra parte, hay un antecedente más lejano del empleo en nuestro país de un filler comercial (el Alfesil), de naturaleza semejante, aunque de distinto origen, y de mejores características de homogeneidad, que desde el año 1955 se ha venido empleando en las mezclas bituminosas en toda la red nacional de carreteras y sin problemas dignos de destacar.

#### 4. RESIDUOS METALURGICOS

##### SIDERURGICOS

Dejando aparte la aplicación principal de la escoria granulada de alto horno como activante de las mezclas gra-





# OCISA

OBRAS Y CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES, S.A.

• AGRUPACION

## CONSTRUCCION Y SERVICIOS

Oficinas Centrales: Princesa, n.º 3 - 28008 Madrid - Télex 42211 - OBYC-E - Tel. (91) 542 40 00 - Fax (91) 248 83 92

# CONTROLS

**Equipos de Ensayo Controls, S.A.**

Lope de Vega, s/n. - Seseña (Toledo)

Teléfono: (91) 895 72 36 - Fax: 269 80 17 - Telex: 41496 POBEL E

**Un sistema completo para  
ensayar suelos, áridos, hormigones,  
cementos, betunes y aceros...**

**T107\***

Máquina motorizada  
CBR/Marshall

Una máquina versátil, de  
doble velocidad - 1.27 y  
50.8 mm/min. - para  
realizar ensayos CBR y  
Marshall. 60 kN de  
capacidad.



**D524**

Máquina micro-Deval

Para determinar la  
calidad de los áridos.  
Completa con 25 kg. de  
esferas de acero inox.  
10 cm. de diámetro.



**C26 Datamatic®**

Máquina de  
compresión 1300 kN

Motor eléctrico y  
visualizador digital  
Datamatic® para la  
lectura de las cargas y  
del gradiente de carga.



**B161**

Horno para betunes

Especialmente realizado  
para observar y  
determinar el efecto del  
calor y del aire en una  
película delgada de  
material bituminoso,  
según ASTM D 2872.



...para determinar su problema antes de que se convierta en problema.



va-escoria y escoria-escoria, nos vamos a referir solamente a la experiencia que se tiene en el C.E.C. de la aplicación de algunos residuos metalúrgicos en mezclas bituminosas para pavimentación de carreteras.

Dentro de este campo los que tienen una aplicación más clara son las escorias de acería del tipo LD.

Este material por tener una cierta proporción de cal y de magnesia libres, necesita un período previo de almacenamiento para su «envejecimiento». Una vez estabilizado el material, presenta unas buenas características mecánicas y un elevado coeficiente de resistencia al deslizamiento, con el único inconveniente de una elevada absorción que requiere una mayor proporción de ligante que con los áridos normales.

Se han realizado diversos estudios de dosificación para capas intermedias y de rodadura, habiéndose obtenido resultados satisfactorios mediante los ensayos normalizados: Marshall, Pista de Ensayo, Inmersión-Compresión, etc., y un buen comportamiento de estas mezclas una vez puestas en obra (tabla 4).

| CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL         |                      |
|--------------------------------------|----------------------|
| DENSIDAD RELATIVA                    | 3,02                 |
| DESgaste LOS ANGELES                 | 24 %                 |
| Acción del sulfato magnésico         | 0,5 %                |
| Adhesividad elemental                | > 95 %               |
| Coeficiente fluido acerado           | 0,45                 |
| CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA         |                      |
|                                      | BITUMINOSA<br>(5 12) |
| <b>Ensayo Marshall</b>               |                      |
| CONTENIDO ÓPTIMO DE BETUN (60/70)    | 7 % s/o              |
| ESTABILIDAD                          | 1.980 Kgf            |
| DEFORMACIÓN                          | 3,2 mm               |
| DENSIDAD COMP.                       | 2,54                 |
| HUECOS MEZCLA                        | 5,5 %                |
| <b>Inmersión-Compresión</b>          |                      |
| RESISTENCIA CONSERVADA               | 68 %                 |
| <b>Ensayo en Pista 60 °C</b>         |                      |
| VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN (7 % betún) | 20 µm/min.           |
| VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN (5 % betún) | 3,5 µm/min.          |

TABLA 4. Residuos siderúrgicos. Escoria de acería LD (Bilbao).

#### NO SIDERÚRGICOS

Otro material que actualmente se está estudiando su aprovechamiento, es el procedente de escombreras del beneficio de otros metales como plomo, cobre y mercurio, abundantes en nuestro país. Tienen, en principio, menos problemas de inestabilidad que los residuos side-

rúrgicos y salvo factores tales como la heterogeneidad y variabilidad intrínseca del material, pueden tener una buena aplicación en la fabricación de mezclas bituminosas.

Sirva como ejemplo un estudio bastante completo que por el año 1955 se hizo en el Laboratorio del Transporte, germen del actual C.E.C., para utilizar en el Plan de Modernización de Carreteras las escombreras de las minas de Linares, La Carolina y Santa Elena en la provincia de Jaén. El resultado fue la pavimentación de la CN-IV por aquella región con dos capas de mezcla bituminosa y con un comportamiento que las mantuvo en general en buen estado casi hasta la iniciación del Plan Redia, a pesar de que por aquella época no sólo contaba la calidad de los materiales, sino que también era un factor importante la maquinaria de fabricación y puesta en obra de las mezclas, así como la poca experiencia en una unidad de obra que empezaba a abrirse camino en nuestro país.

Actualmente se está estudiando en el C.E.C. el aprovechamiento del material procedente de las escombreras de Almadén para bases y mezclas bituminosas.

#### 5. PAVIMENTOS BITUMINOSOS ENVEJECIDOS REICLADO

Como ejemplo final de aplicación de materiales no convencionales a la construcción de carreteras vamos a comentar a continuación una técnica de actualidad para la regeneración de pavimentos bituminosos envejecidos.

El reciclado de mezclas bituminosas envejecidas no constituye sólo una alternativa más en la técnica de rehabilitación de firmes flexibles, pues aparte de las ventajas de orden técnico, presenta otras como el aprovechamiento de materiales ya utilizados y por tanto la conservación de otros recursos naturales, un ahorro económico importante y una considerable protección del medio ambiente.

Como el tema es muy amplio vamos a dar aquí solamente un resumen de los aspectos más importantes a considerar ante un problema de reciclado, utilizando simplemente unos esquemas operativos basados en un trabajo de B. RUBIO, del C.E.C., que recogen prácticamente la filosofía de esta tecnología de la que ya hay una cierta experiencia en España.

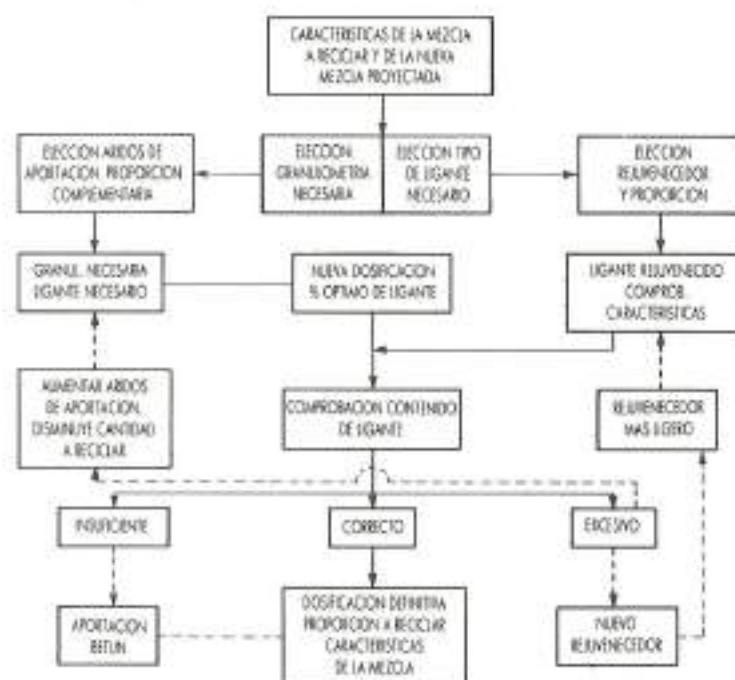
En todo problema de reciclado se pueden considerar tres fases que se recogen en los tres esquemas siguientes:

- 1.º Factores a considerar y posibles soluciones ante un problema de rehabilitación de una carretera en servicio.
- 2.º Estudio en el laboratorio del reciclado.
- 3.º Aplicación de la técnica más adecuada para su ejecución.

## CARRETERAS Y AEROPUERTOS

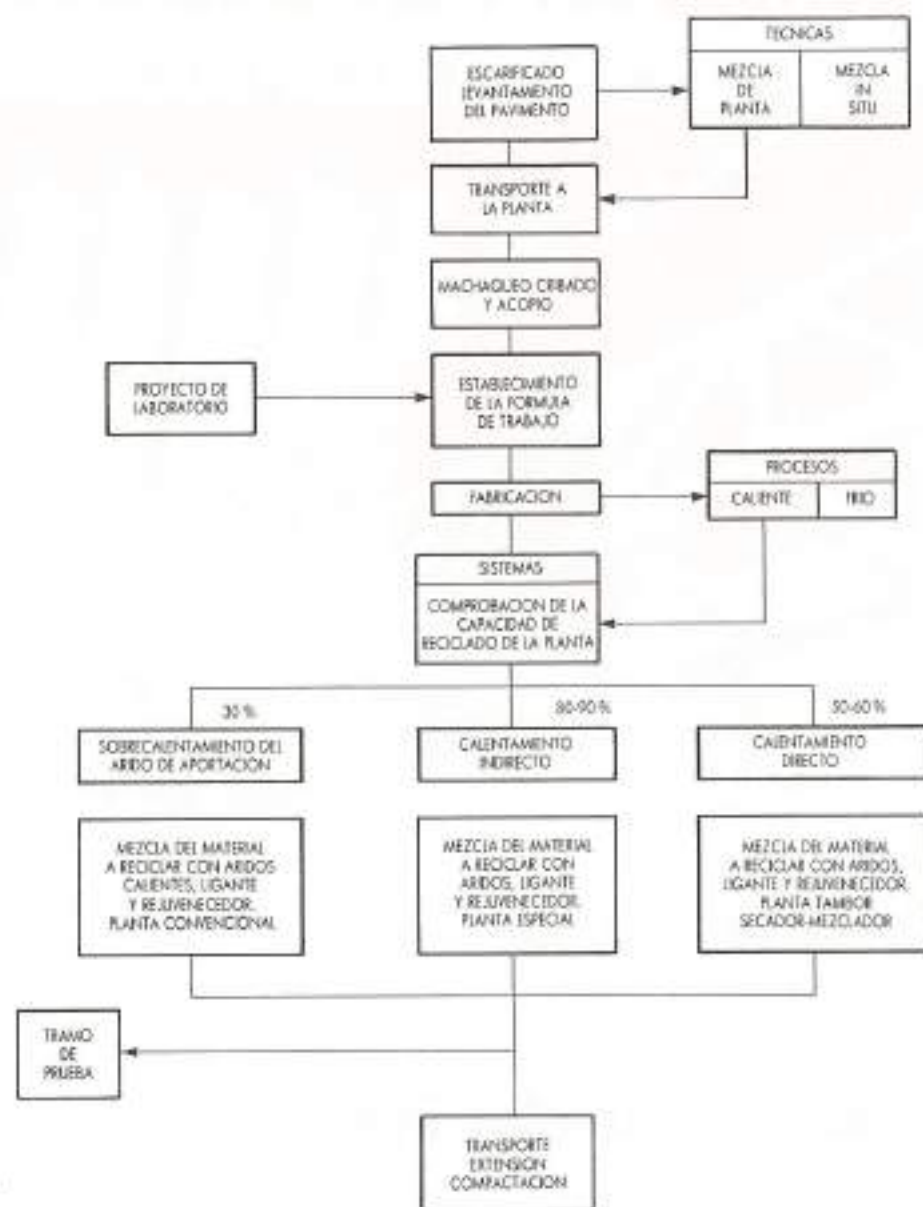


**ESQUEMA 1.** Factores a considerar y posibles soluciones ante un problema de rehabilitación de una carretera.



**ESQUEMA 2.** Estudio del reciclado en el laboratorio.





ESQUEMA 3. Reciclado de mezclas bituminosas en planta.

# BIBLIOGRAFIA

1. DEL VAL, M. A., 1985. Aprovechamiento de residuos plásticos urbanos en la construcción de firmes. A.E.P.C.R.
2. DIEZ, J. J., 1977. Empleo de materiales de desecho y subproductos industriales en la construcción de carreteras. Bol. Inf. del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo, n.º 119. Madrid.
3. DO PINO, F., y RUBIO, B., 1985. Spanish experience with the use of modified binders. 3rd. Eurobitume Symposium. Holanda.
4. ESTEBAN, J., 1981. Utilización de subproductos y residuos industriales urbanos en la técnica de carreteras. Ingeniería Civil y Medio Ambiente. CEOTMA-MOPU. Madrid.

5. LACLETA, A.; VALERO, L., y RUBIO, B., 1984. La experiencia española del empleo del betón-azufre en la construcción de carreteras. Jornadas Nacionales sobre Firmes Flexibles. Barcelona.
6. MUÑOZ, J. M., 1984. Breves comentarios sobre la valoración al filler. Jornadas Nacionales sobre Firmes Flexibles. Barcelona.
7. RUBIO, B., 1976. Modificación de los ligantes bituminosos con polímeros. Centro de Estudios de Ingeniería y Arquitectura. Madrid.
8. RUBIO, B., 1987. Metodología y directrices generales para el estudio del reciclado de mezclas bituminosas en el laboratorio. Bol. Bibl. Ingeniería Civil. CEDEX.

# TECNOLOGIA Y EXPERIENCIA EN OBRA



---

Aditivos de Hormigón  
Líquidos de curado

---

Geotextiles, Geomallas, Drenajes

---

Juntas e Impermeabilización de tableros de puente

---

Diagnosis, reparación y protección del Hormigón  
Inyecciones y refuerzo de Estructura

---

**UN EQUIPO DE PROFESIONALES A SU SERVICIO**

---



**texsa**

DIVISION OBRAS PUBLICAS

Pasaje Marsal, 11-13 - Tel.: 331 40 00\* - Fax.: 332 26 45 - Télex: 52943 - 08014 Barcelona  
Santa Leonor, 37 - Tel.: 754 11 12 - 754 05 45 - Fax.: 754 53 53 - Télex: 43444 - 28037 Madrid  
40 Delegaciones en España. Presente en 36 Países.