



# Características de los ligantes y conglomerantes en los firmes de carreteras

<b>Apellidos, nombre</b>	López Maldonado, Griselda ( <a href="mailto:grilomal@tra.upv.es">grilomal@tra.upv.es</a> )
<b>Departamento</b>	Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes
<b>Centro</b>	Universitat Politècnica de València



## 1 Resumen de las ideas clave

Bajo el nombre de ligantes y conglomerante se engloban una amplia gama de materiales de diferente naturaleza y composición. Sin embargo, estos materiales tienen una característica común; poseen propiedades adhesivas y aglomerantes, y por tanto, son los materiales que aportan la cohesión necesaria para unir los materiales utilizados en la formación de las diferentes capas del firme de la carretera. Conocer sus características, propiedades y tipologías es un requisito fundamental de cara a su diseño.

## 2 Introducción

El firme de la carretera puede definirse como un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, y de varios centímetros de espesor. Estas capas están ejecutadas con materiales seleccionados, y, generalmente, tratados. Entre los materiales básicos que constituyen los firmes se encuentran: los suelos granulares, los áridos naturales y artificiales, el agua, los ligantes bituminosos y los conglomerantes hidráulicos.

Los ligantes y conglomerantes son materiales con propiedades aglomerantes que aportan cohesión a las capas de firme. Sin embargo, entre otros factores, se diferencian por el tipo de reacción que sufren para dar cohesión a la mezcla. De este modo, los conglomerantes sufren una reacción química para dar cohesión a la mezcla (fraguado – formación de un nuevo material); mientras que los aglomerantes sufren una reacción física (secado – endurecimiento).

En este artículo docente se describen las principales características de estos materiales, así como su aplicabilidad en la construcción de carreteras.

## 3 Objetivos

Una vez que el alumnado se lea con detenimiento este documento, será capaz de:

- Identificar las principales características y diferencias de los ligantes y conglomerantes.
- Distinguir dónde se utilizan estos materiales en la construcción de obras de carreteras.
- Deducir a partir de la nomenclatura de los ligantes bituminosos, cuáles son los materiales que lo componen.

## 4 Conglomerantes

Los conglomerantes tienen especial importancia en los pavimentos semirrígidos de carreteras, ya que para su formación se utilizan principalmente estos materiales. Estos materiales al mezclarse con agua desarrollan un poder conglomerante, por el cual endurecen. Para que se lleve a cabo este proceso, que se conoce como fraguado, requieren cierto tiempo de reacción.

Dentro de los conglomerantes se pueden distinguir:



- **Cales aéreas:** realizan el fraguado al aire y generalmente carecen de propiedades hidráulicas, por lo cual no endurecen con el agua. Estas cales son las que se utilizan en la estabilización de suelos in situ, para la formación de la explanada.
- **Conglomerantes hidráulicos:** pueden desarrollar el proceso de fraguado con los materiales sumergidos. Los materiales más importantes dentro de este grupo son los cementos, que se emplean en la construcción de los firmes de hormigón, además de en aquellas capas que requieren tratamientos con cemento. Estos materiales también se utilizan para la estabilización de suelos in situ. Los cementos más recomendables para ser utilizados en carreteras son, en general, aquéllos que no tengan un fraguado y un endurecimiento muy rápidos, ni desarrollen en corto plazo unas resistencias muy elevadas (por no ser necesarias), ni un gran calor de hidratación. Estos materiales deben permitir un margen de tiempo suficiente para su correcta puesta en obra, así como para reducir a un mínimo la fisuración por retracciones.
- **Conglomerantes puzolánicos:** para fraguar requieren aditivos (normalmente se usa cal). Dentro de estos materiales se tienen puzolanas naturales, cenizas volantes y escorias granuladas. Estos materiales se pueden emplear en la construcción de bases y subbases mediante la formación de grava-puzolana (o arena-puzolana), grava-ceniza (o arena-ceniza) y grava-escoria, respectivamente. Sin embargo, su utilización básica es como componente de los cementos.

## 5 Ligantes hidrocarbonados

Los ligantes hidrocarbonados son productos bituminosos relativamente viscosos a temperatura ambiente, formados por mezclas complejas de hidrocarburos, y que poseen propiedades aglomerantes. Se caracterizan por ser de color negro (o muy oscuras), y ser uno de los principales componentes de las mezclas bituminosas. Entre sus principales propiedades destacan la termoplasticidad y el envejecimiento.

### 5.1 Propiedades

#### Termoplasticidad

Es la propiedad por la que, al elevarse la temperatura del ligante, disminuye su consistencia. A la variación de la consistencia de los ligantes frente a los cambios de temperatura se denomina susceptibilidad térmica.

Como se observa en la imagen 1, la viscosidad de un ligante está muy relacionada con la temperatura, de modo que al elevarse ésta la viscosidad disminuye. Además, el aumento de su temperatura produce transformaciones reológicas importantes en el mismo, que son de gran utilidad a la hora de ponerlo en obra.

La susceptibilidad de un ligante indica la sensibilidad que presenta el mismo a variar su viscosidad por elevación de la temperatura. Esta relación puede observarse en la imagen 1, en la que la línea recta del gráfico representa el comportamiento de un ligante normal.

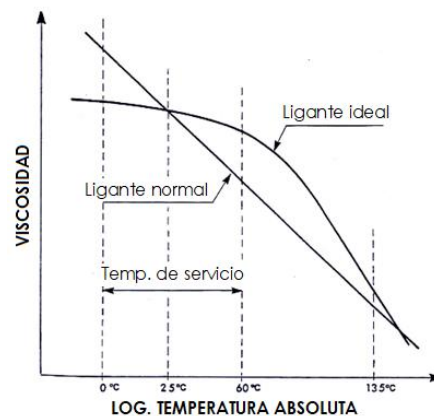


Imagen 1. Variación de la viscosidad con la temperatura del ligante.



A la vista de la Imagen 1, ¿sabrías porque nos interesa el comportamiento de un ligante ideal?

La susceptibilidad térmica de los ligantes tiene mucha importancia en el proceso puesta en obra y servicio de las mezclas bituminosas. Es por ello que nos interesa el comportamiento de en un ligante ideal.

Según se observa en la gráfica, un ligante ideal muestra dos comportamientos: un comportamiento en el que a altas temperaturas cambia rápidamente sus propiedades; y otro (a temperaturas más bajas) en el que no varía considerablemente sus propiedades.

Para la gama de temperaturas de servicio, las cuales pueden ser muy variadas dependiendo de la zona climatológica en la que se ubique la carretera, buscamos que los ligantes sean estables (no nos interesan que cambien sus características). El producto bituminoso una vez puesto en obra debe conservar su consistencia ante los cambios de temperatura ambiente. De no ser así, si aquella baja más de lo debido, al elevarse la temperatura el firme se deformará bajo las cargas del tráfico. Por otra parte, si el betún se endurece, se torna frágil y el firme puede agrietarse.

Sin embargo, en la puesta en obra de los pavimentos nos interesa que las propiedades de los ligantes varíen, haciéndose más líquidos (viscosidades bajas, obtenidas generalmente por calentamiento del material); lo que permitirá envolver a los áridos y facilitará la trabajabilidad de las mezclas.

### Envejecimiento

El firme de las carreteras sufre una degradación gradual con el paso del tiempo, debida a diferentes mecanismos de deterioro. Los mecanismos que intervienen en el proceso de envejecimiento se asocian a cambios químicos, físicos, mecánicos y reológicos [1]. Los cambios químicos son principalmente la volatilización y la oxidación, y son irreversibles, mientras que los físicos son reversibles.

En el envejecimiento intervienen muchas variables, entre ellas, las características propias de la mezcla, o variables intrínsecas, tales como el ligante, el espesor de la película de betún, los áridos y la cantidad de huecos [2].

Durante los procesos de fabricación y de puesta en obra de la mezcla bituminosa, así como en su posterior vida de servicio, se va produciendo el progresivo envejecimiento del ligante. El envejecimiento del ligante es debido a un proceso de oxidación, el cual provoca una pérdida de sus propiedades iniciales con el paso del tiempo.

El proceso de oxidación de los ligantes produce la pérdida de los componentes más ligeros y una alteración en su estructura molecular.



Sabías que...

*“La mayor parte de la oxidación (y por tanto del envejecimiento) se produce en la propia puesta en obra de las mezclas. Este fenómeno se conoce como envejecimiento a corto plazo. Se inicia tan pronto como se prepara la mezcla, siendo en la etapa de fabricación donde el betún envejece más rápidamente (debido especialmente a su incremento de la temperatura para poder proceder a la fabricación de la mezcla); sin embargo, el proceso continúa en las fases de mezclado, transporte y colocación de la mezcla asfáltica.”*

El envejecimiento de los ligantes en una propiedad que puede mejorarse mediante la modificación de sus propiedades, es decir, mediante el empleo de ligantes modificados.

Pueden clasificarse en 3 tipologías: betunes asfálticos, asfaltos naturales y alquitranes. En la construcción de carreteras se han empleado tradicionalmente distintos materiales derivados de la destilación de hullas y de petróleos como ligantes para distintas aplicaciones. Sin embargo, en la actualidad, solo se emplean los ligantes hidrocarbonados de naturaleza asfáltica (betunes asfálticos y emulsiones bituminosas).

## 5.2 Betunes asfálticos

Los betunes asfálticos, también conocidos como betunes de penetración, son productos que se obtienen por la destilación del crudo en las refinerías de petróleo. Tienen un aspecto viscoso y se emplean fundamentalmente para la fabricación de mezclas bituminosas en caliente, y ocasionalmente, en la realización de riegos con gravillas.

Su idoneidad para la construcción de carreteras es debida a su comportamiento reológico. A altas temperaturas se comporta como un fluido, lo que permite realizar la mezcla con los áridos, mientras que al bajar la temperatura se comportan como un sólido elástico; aumentando su viscosidad lo suficiente como para dar cohesión a la mezcla y poder resistir los esfuerzos producidos por el tráfico (sin sufrir deformaciones permanentes).

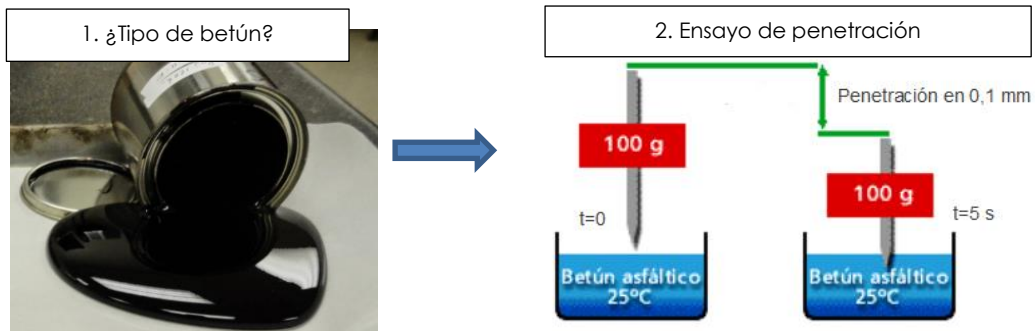


¿Sabes cómo se clasifican los distintos tipos de betunes asfálticos?

Se clasifican mediante el Ensayo de Penetración (Norma UNE-EN-1426), de ahí que también puedan denominarse betunes de penetración.

Este ensayo consiste en introducir una aguja normalizada en una muestra de betún, fijando unas condiciones de peso, tiempo y temperatura (100 g, 5 segundos y 25°C, respectivamente).

El resultado de este ensayo se expresa por la profundidad, en décimas de milímetro, a que una aguja, de dimensiones dadas, penetra verticalmente en la muestra de material, como se observa en la imagen 2. Del resultado de este ensayo deriva la denominación del betún.



**B** MIN MAX

**B:** Betún

**MIN:** Valor mínimo de penetración en décimas de milímetro

**MAX:** Valor máximo de penetración en décimas de milímetro

Imagen 2. Ensayo normalizado de penetración y denominación del betún.

La denominación de los betunes asfálticos, así como los que contempla particularmente el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carretera y Puentes (PG-3) se muestra en la imagen 3.

A. Estructura de la denominación de los betunes

**B** MIN MAX

**B:** Betún

**MIN:** Valor mínimo de penetración en décimas de milímetro

**MAX:** Valor máximo de penetración en décimas de milímetro

B. Denominación de los betunes contemplados en el PG3 (Art. 211)

BETÚN ASFÁLTICO DURO NORMA UNE-EN 13924-1	BETÚN ASFÁLTICO CONVENCIONAL NORMA UNE-EN 12591
15/25	
	35/50
	50/70
	70/100
	160/220

Imagen 3. Denominación de los betunes asfálticos definidos en el PG-3.

### 5.3 Betunes asfálticos modificados

Los betunes asfálticos modificados consisten en la mejora del betún por medio de la adición de polímeros. Algunos tipos de mezclas bituminosas requieren ciertas particularidades o propiedades que se pueden alcanzar con el empleo de estos betunes.

Los betunes asfálticos modificados se emplean en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente (tipo AC), en mezclas drenantes y en mezclas discontinuas.

El empleo de estos betunes aumenta notablemente el coste del material, sin embargo, aportan importantes ventajas, tal y como la posibilidad de fabricar mezclas más duraderas y con menores espesores. También pueden reducir el ruido al paso del tráfico (pavimentos fonoabsorbentes)

La denominación de los betunes asfálticos modificados, así como los que contempla particularmente el PG-3, se muestra en la imagen 4.

A. Estructura de la denominación de los betunes asfálticos modificados

**PMB** MIN - MAX/REB

**PMB:** Betún modificado con polímeros

**MIN:** Valor mínimo de penetración en décimas de milímetro

**MAX:** Valor máximo de penetración en décimas de milímetro

B. Denominación de betunes asfálticos modificados contemplados en el PG3 (Art. 212)

DENOMINACIÓN UNE-EN 14023
PMB 10/40-70
PMB 25/55-65
PMB 45/80-60
PMB 45/80-65
PMB 45/80-75
PMB 75/130-60

Imagen 4. Denominación de los betunes asfálticos modificados definidos en el PG-3.

## 6 Emulsiones bituminosas

Una emulsión consiste en una dispersión de pequeñas partículas en una solución de agua y agente emulsionante de carácter catiónico o aniónico, que hace que las partículas se mantengan separadas. Son productos líquidos a temperatura ambiente, con una viscosidad tan reducida que no necesitan ser calentarlos para su puesta en obra.



El PG-3 (Art. 214) define las emulsiones bituminosas como las dispersiones de pequeñas partículas de un ligante hidrocarbonado y eventualmente un polímero, en una solución de agua y un agente emulsionante.

Según la polaridad que el emulgente proporcione a las partículas del betún, las emulsiones pueden clasificarse en:

- **Emulsiones aniónicas**, que se caracteriza porque tienen polaridad básica y buena adhesividad con áridos básicos, como son los áridos calizos.
- **Emulsiones catiónicas**, que se caracteriza porque tienen polaridad ácida y buena adhesividad con áridos ácidos, como son los áridos silíceos. Actualmente el PG3 solo contempla este tipo de emulsiones.

El principal objetivo de las emulsiones es facilitar la puesta en obra, ya que son líquidas a temperatura ambiente. Según el tipo de emulsión empleada, puede tener distintos usos en la constitución del firme, como son: riegos de curado, riegos de imprimación, riegos de adherencia o en microaglomerados en frío.

Cuando las emulsiones se ponen en contacto con la superficie de los áridos, bien por reacción química o bien por evaporación del agua, las partículas de betún se vuelven a juntar formando la partícula continua. Este proceso se conoce como rotura de la emulsión.

En la rotura de las emulsiones tiene una gran influencia el porcentaje de árido fino y polvo mineral del material granular a tratar. De este hecho se deriva la existencia de tres tipos de emulsiones: emulsiones de rotura lenta, media y rápida. Las primeras son adecuadas para las mezclas con altos contenidos de finos (grava-emulsión, lechadas y reciclados in situ en frío), las segundas para mezclas con pocos finos (mezclas abiertas) y, por último, las de rotura rápida, que proporcionan una cohesión inicial alta, para mezclas sin árido fino (como son los riegos con gravilla).

La denominación de las emulsiones, así como las que contempla particularmente el PG-3, se muestra en la imagen 5.

A. Estructura de la denominación de los betunes asfálticos modificados

**C**    **% Ligante**    **B**    **P**    **F**    **C. Rotura**    **Aplicación**

**C:** Emulsión catiónica

**% Ligante:** Contenido de ligante

**B:** Tipo de Betún (B = betún asfáltico; BP, BPF = betún modificado con polímero; BF = betún fluidificado)

**P:** Se incluye esta letra si la emulsión incluye polímeros

**F:** Se incluye esta letra si la emulsión incluye fluidificantes en un contenido superior al 3%

**C. rotura:** Facilidad de rotura, tomando valores de 2 a 10 (de rápido a lento)

**Aplicación:** ADH (riego de adherencia), TER (riego de adherencia termoadherente), CUR (riego de curado), IMP (riego de imprimación), MIC (microaglomerado en frío) y REC (reciclado en frío).



## C. Denominación de emulsiones bituminosas contemplados en el PG3 (Art. 214)

DENOMINACIÓN UNE-EN 13808	APLICACIÓN
C60B3 ADH C60B2 ADH	Riegos de adherencia
C60B3 TER C60B2 TER	Riegos de adherencia (termoadherente)
C60BF4 IMP C50BF4 IMP	Riegos de imprimación
C60B3 CUR C60B2 CUR	Riegos de curado
C60B4 MIC C60B5 MIC	Microaglomerados en frío
C60B5 REC	Reciclados en frío

DENOMINACIÓN UNE-EN 13808	APLICACIÓN
C60BP3 ADH C60BP2 ADH	Riegos de adherencia
C60BP3 TER C60BP2 TER	Riegos de adherencia (termoadherente)
C60BP4 MIC C60BP5 MIC	Microaglomerados en frío

Imagen 5. Denominación de las emulsiones bituminosas definidas en el PG-3.

## 7 Conclusión

En este artículo docente se han explicado qué son los ligantes y los conglomerantes, cuáles son sus propiedades fundamentales y sus usos en la construcción de carreteras. Además, se ha analizado la nomenclatura de los ligantes que viene recogida en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para Obras de Carretera y Puentes (PG-3), y que nos permitirá identificar cuáles son los diferentes componentes que forman parte de este material.

Con estos conocimientos básicos, es posible a partir de una nomenclatura dada, describir de qué tipo de ligante se trata y cuáles son sus componentes, vamos a comprobarlo.



A la vista de las siguientes denominaciones ¿Podrías indicar de qué material se trata?

- PMB 45-80/60
- C50BF4 IMP
- C60BP3 ADH



- a. PMB 45-80/65
- *PMB: Indica que se trata de un betún modificado con polímeros.*
  - *45-80: Son los valores mínimos y máximos, respectivamente, admisibles en el ensayo de penetración.*
  - *65: indica que el valor mínimo del punto de reblandecimiento es de 65°C.*
- b. C50BF4 IMP
- *C: Indica que se trata de una emulsión catiónica.*
  - *50BF4: Indica que contiene un 50% de ligante (betún asfáltico, B)*
  - *F: Indica que incluye fluidificantes en un porcentaje superior al 3%.*
  - *4: El coeficiente de rotura es de valor 4, indicando una rotura media.*
  - *IMP: la aplicación de la emulsión es como riego de imprimación.*
- c. C60BP3 ADH
- *C: Indica que se trata de una emulsión catiónica.*
  - *60BF4: Indica que contiene un 60% de ligante (betún asfáltico, B)*
  - *P: Indica que incluye polímeros, por lo que se trata de una emulsión catiónica modificada.*
  - *3: El coeficiente de rotura es de valor 3, indicando una rotura lenta.*
  - *ADH: la aplicación de la emulsión es como riego de adherencia.*

## 8 Bibliografía

Kraemer, C. et al. (2004). "Ingeniería de Carreteras. Vol. 2". McGraw-Hill.

Belda Esplugues, E. (2011). "Parámetros fundamentales del tráfico: densidad, intensidad y velocidad". Temario General de la ESTT - OEP 2011. Grupo de Materias Generales. <http://www.dgt.es/es/la-dgt/empleo-publico/oposiciones/2011/temario-parte-general-convocatoria-2011.shtml>

Fernández-Gómez, W., H. Rondón y F. Reyes, 2011. Envejecimiento de asfaltos y mezclas asfálticas: estado del conocimiento.

López-Montero, T. y R. Miró, 2015. El envejecimiento en las mezclas asfálticas. Plataforma Tecnológica de la Carretera.