

Betunes asfálticos:

materiales muy utilizados y poco conocidos químicamente

1. INTRODUCCIÓN

El betún asfáltico es el material más antiguo utilizado por el hombre en el campo de la ingeniería.¹ Sus propiedades adhesivas e impermeabilizantes eran ya conocidas en los albores de la civilización.² Los sumerios lo emplearon para calafatear barcos y los egipcios para el embalsamiento de cadáveres, de donde proviene el nombre de bálsamo de momia que, a veces, se le ha aplicado³.

El betún o asfalto es, según la definición del ASTM (American Society for Testing and Materials), un material consistente de color marrón oscuro o negro compuesto por una mezcla de productos bituminosos que se encuentran en la naturaleza o se obtienen en el procesado del petróleo⁴.

Otra definición también utilizada es la de un líquido viscoso o sólido de color negro o marrón, compuesto principalmente de hidrocarburos y sus derivados, soluble en tricloroetileno, básicamente no volátil, que funde gradualmente al ser calentado y posee propiedades impermeabilizantes y adhesivas.

En las especificaciones actuales para carreteras se



Figura 1. Restos arqueológicos en los que se muestran evidencias del conocimiento del betún



Alejandro Martínez



Nazario Martín

Departamento de Química Orgánica.
Facultad de Química. Universidad
Complutense, E-28040 Madrid



Amador Gómez



Antonio Páez

Repsol-YPF. Dirección de Tecnología.
Asfaltos. Autovía de Extremadura (N-5)
Km. 18. Móstoles 28931 Madrid

define como los ligantes hidrocarbonados sólidos o viscosos preparados a partir de hidrocarburos naturales por destilación, oxidación o "cracking", que contienen baja proporción de volátiles, poseen propiedades aglomerantes características y son esencialmente solubles en sulfuro de carbono.

Se denominan con la letra B seguida de dos números que indican el valor mínimo y máximo admisible de su penetración a 25 °C según la norma NLT-124 separados por una barra inclinada a la derecha. Así, un betún del tipo B 60/70 es aquel en el que su penetración está en el rango de 60 a 70 décimas de milímetro.

En su aplicación en pavimentación sirven especialmente para dar cohesión y flexibilidad a la mezcla, utilizando su poder aglomerante para unir las partículas de áridos.

Como en todos los compuestos, la estructura y la composición química son las responsables de las propiedades y características de los betunes asfálticos. Esta estructura y composición química vienen condicionadas por la naturaleza del crudo de partida y el proceso utilizado en su fabricación.

En ocasiones, la terminología empleada para referirse a los diversos productos bituminosos puede crear cierta confusión. En Europa se denomina con la palabra *bitumen* (betún) a lo que en Estados Unidos se denomina con la palabra *asphalt* (asfalto). Sin embargo, en Europa la palabra asfalto sugiere inmediatamente a la mezcla bituminosa del betún con los áridos minerales. Es muy general emplear los términos betún y asfalto indistintamente. Otros términos empleados habitualmente son brea (*pitch*) y alquitrán (*tar*), aunque no deben confundirse por su distinta procedencia y origen.

Las propiedades que definen al asfalto, además de su color, son su consistencia, alta adhesividad, flexibilidad, impermeabilidad al agua y durabilidad.

2. TIPOS DE BETUNES

Se pueden hacer varias divisiones de los betunes. Una de ellas los clasifica en naturales o derivados del procesamiento del petróleo, según su origen.⁵ Los diferentes tipos de ligantes bituminosos pueden definirse como sigue:

Asfalto de lago:

Su uso es el más extendido de entre los asfaltos naturales y como consecuencia es del que más conocimiento se tiene. Se encuentra en depósitos superficiales bien definidos, de entre los cuales el más importante se encuentra en Trinidad, donde se encuentran numerosos pequeños depósitos de asfalto, pero es el "Lago de Brea", localizado en la zona sur de la isla a un kilómetro del mar, el que constituye uno de los depósitos más grandes del mundo. El lago, de forma cónica invertida, tiene aproximadamente 35 hectáreas de superficie y una profundidad estimada de 90 metros. Se calcula que tiene entre 10 y 15 millones de toneladas de material y su superficie es lo suficientemente dura como para soportar el peso de los tractores y las máquinas excavadoras que transportan el material excavado desde la superficie del lago hasta los vagones que discurren a lo largo del borde.

Numerosas teorías han sido sugeridas para explicar el origen del lago de brea, pero la más aceptada es la que explica que surgió a raíz de un betún viscoso de la época del Mioceno⁶ por medio de una destilación natural a lo largo de los años.

El material es refinado a 160 °C y se elimina el agua por evaporación. Las diferentes impurezas y el material vegetal se elimina mediante filtros finos. A este material refinado se le llama Trinidad Epuré y su composición es la siguiente: Ligante (54%), materia mineral (36%) y materia orgánica (10%).

El Epuré es demasiado duro para utilizarlo en mezclas asfálticas porque su penetración es de aproximadamente 2 dmm (décimas de milímetro) y un punto de reblandecimiento de 95 °C. Se utiliza en una mezcla a partes iguales con betunes de tipo 200. La mezcla resultante tiene una penetración cercana a 50 dmm y se utiliza habitualmente en la formulación de asfaltos.

Asfalto de roca:

Se forma por la impregnación de rocas calcáreas como la piedra caliza o la piedra arenisca con el betún natural. Este producto puede extraerse de minas o de yacimientos y contiene alrededor de un 12% en masa de betún. Los depósitos de mayor importancia se encuentran en Gard (Francia), Neuchatel (Suiza) y Ragusa (Italia). En la actualidad su uso es muy marginal, a pesar de que fueron los primeros en ser utilizados como pavimento de carreteras.

Alquitrán:

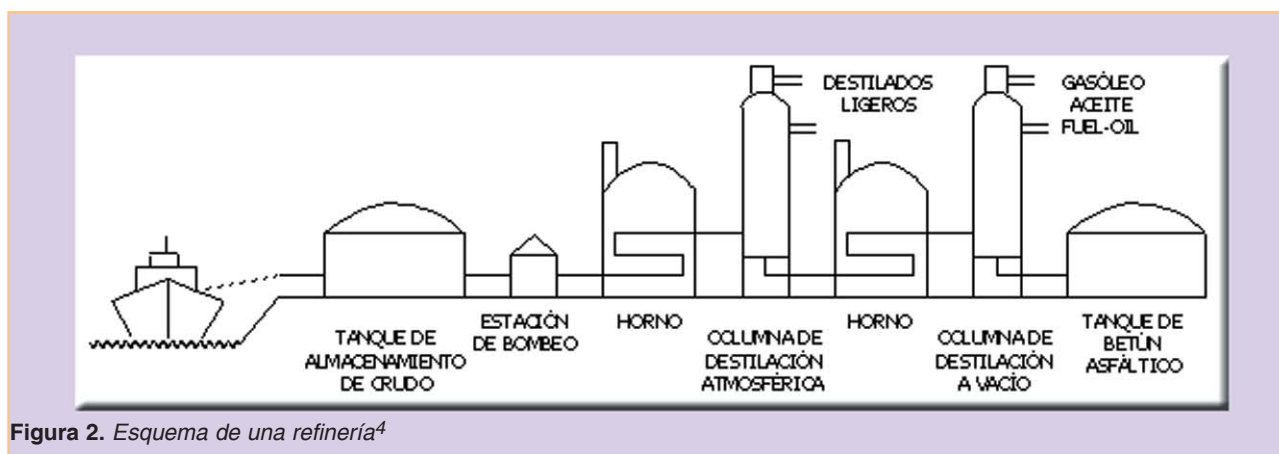
A menudo se confunden los betunes (derivados del petróleo) con los alquitranes (derivados de la manufactura del carbón). Esto sucede por dos motivos: en primer lugar, para el ojo inexperto ambos materiales tienen apariencia similar (color negro, comportamiento termoplástico, alta viscosidad a temperatura ambiente). En segundo lugar, las aplicaciones de ambos materiales son similares (construcción de carreteras, techados y recubrimientos protectores). Sin embargo, son diferentes tanto en su origen como en su composición química. Las diferencias químicas y físicas dan como resultado diferencias en el comportamiento y en las emisiones de vapor durante la aplicación y posterior desarrollo en servicio.

La palabra alquitrán es el término genérico con el que se denominan los productos líquidos obtenidos cuando productos orgánicos como el carbón o la madera son carbonizados (destilados) en ausencia de aire. El alquitrán refinado se obtiene mezclando el residuo con los aceites de destilado en proporciones adecuadas. Para las aplicaciones en carreteras los alquitranes se usaban generalmente mezclados con betunes para mejorar la envuelta y adhesión del árido. Sin embargo, debido a los problemas de salud que implica (carcinógeno), su uso se ha limitado en gran medida.

Betún asfáltico:

El betún se manufactura a partir del crudo del petróleo. Se cree que el origen del crudo se encuentra en los restos de organismos marinos y vegetales depositados con el barro y las rocas en el lecho del océano. Durante millones de años, el material orgánico y el barro fue acumulándose en capas de cientos de metros de espesor y el inmenso peso de las capas superiores comprimió las inferiores. La conversión de los organismos y la materia vegetal en los hidrocarburos del crudo se consiguió a través del resultado de la aplicación de calor dentro de la corteza terrestre y la presión aplicada por las capas superiores de sedimentos, favorecida por el efecto de la acción bacteriana y el bombardeo radiactivo. Debido a que posteriores capas de sedimentos se fueron depositando, la presión adicional hizo que el crudo penetrara en las rocas porosas que se extienden por la superficie de la Tierra y en la mayor parte de los casos quedó atrapado por otras capas impermeables formando bolsas.

Las cuatro principales zonas productoras en el mundo son los Estados Unidos, Oriente Medio, el Caribe y la antigua Unión Soviética. Estos crudos se diferencian por sus diferentes propiedades físicas y químicas. En el aspecto físico varían desde líquidos negros y viscosos a líquidos coloreados que fluyen libremente. En el aspecto químico son predominantemente parafínicos, nafténicos o aromáticos, siendo las combinaciones de los dos primeros las más comunes.

Figura 2. Esquema de una refinería⁴

3. FABRICACIÓN DE BETUNES

Técnicamente, el betún es la fracción del petróleo que se destila por encima de 535 °C y en la que se encuentran los compuestos químicos con pesos moleculares por encima de 600uma. Así pues, su obtención a partir del petróleo se realiza por distintos procesos de destilación, soplado, extracción de disolventes y reconstitución.⁷

El primer proceso es una destilación fraccionada a presión atmosférica y 300-350 °C en la que se separan los gases (propano y butano), nafta (que posteriormente se utiliza para la obtención de gasolina), queroseno y gasoil, del crudo reducido. Posteriormente se somete el crudo reducido a una segunda destilación a vacío (10-100 mm de Hg) y 350-400 °C en la que se obtiene una serie de cortes más pesados que sirven como base para la fabricación de aceites lubricantes. Queda un residuo de vacío que posee una elevada viscosidad y una penetración entre 10 y 500 dmm en función del origen del crudo.

Una vez obtenido el residuo de vacío se dan diversos procesos y transformaciones. Podemos clasificar los betunes atendiendo a su proceso final de fabricación en los siguientes grupos:

- **Betunes de destilación directa:** Se obtienen generalmente como residuo de la torre de destilación a vacío. Su penetración varía en función de la temperatura y vacío que se apliquen. Esta técnica es adecuada sobre todo para crudos de petróleo pesados, con un elevado porcentaje de asfaltenos. Los betunes que se obtienen poseen unos valores de penetración entre 40/50 a 150/200.
- **Betunes reconstituidos:** Se obtienen por mezcla de residuo desasfaltado con propano con los extractos aromáticos procedentes del refinado de los aceites lubricantes, con disolventes selectivos o con los residuos pesados de destilación. Una vez más, variando las proporciones relativas de cada uno de ellos se puede obtener toda una gama de betunes de penetración.
- **Betunes soplados:** Se obtienen a partir del crudo reducido o del residuo de vacío haciendo pasar una corriente de aire través de su masa a elevada temperatu-

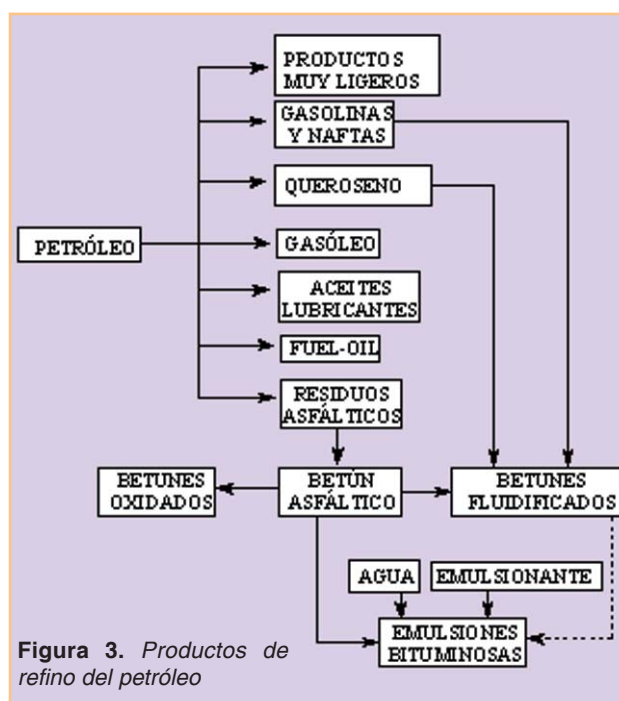


Figura 3. Productos de refinado del petróleo

ra (240-320 °C). Se producen reacciones de deshidrogenación y polimerización, provocándose cambios en la estructura inicial del betún, que modifica sus propiedades. Apenas se usan hoy en día para carreteras y su uso ha quedado limitado a impermeabilización.

- **Betunes soplados reconstituidos:** Este proceso consiste en soplar un residuo de destilación para conseguir un componente duro con una penetración en torno a las 10 dmm. Se puede obtener una gama de betunes de penetración mezclándolo con el mismo residuo de destilación de partida o con otros productos de refinería. Este es un procedimiento que se aplica generalmente a los crudos de base mixta como los procedentes de Oriente Medio.

4. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Los betunes asfálticos están constituidos principalmente por una mezcla de moléculas de alto peso molecular, de naturaleza principalmente hidrocarbonada, con pequeñas proporciones de heteroátomos S, O,

N y pequeñas cantidades de átomos metálicos (V, Ni, Fe, Ca, Mg).⁷

Como término medio, el análisis elemental de los betunes procedentes de diversos crudos muestra que los betunes contienen:

Carbono	82-88 %
Hidrógeno	8-11 %
Azufre	0-6 %
Oxígeno	0-1.5 %
Nitrógeno	0-1 %

El asfalto, como el petróleo crudo, es una mezcla de un enorme número de hidrocarburos diversos, mezclados en proporciones muy variables⁴.

La mayoría de estos hidrocarburos se encuentran en el petróleo crudo, pero el proceso de destilación ocasiona algunas transformaciones de carácter químico. De cualquier modo, los hidrocarburos que forman el asfalto son todos pesados, de estructura molecular muy complicada. Esto se debe a que los hidrocarburos ligeros se eliminan previamente en el proceso de destilación.

El origen del petróleo y el proceso de fabricación del betún influyen decisivamente en su composición. El proceso de destilación que sufre el crudo en refinería tiende a eliminar preferentemente los saturados y concentrar asfaltenos en el betún. El soplado de un residuo de vacío aumenta el contenido en asfaltenos y reduce el de aromáticos, manteniendo esencialmente constante el contenido de saturados y polares.

Los enlaces químicos mantienen unidas a las moléculas, pero son relativamente débiles y fáciles de romper por calentamiento o esfuerzo cortante. Esto explica la viscoelasticidad natural de los asfaltos. El enlace intermolecular se destruye cuando el asfalto se calienta, pero cuando se enfría los enlaces vuelven a formarse y

la estructura química se recupera. Lo que ocurre es que no necesariamente se recupera igual que antes del calentamiento. Todas las moléculas contenidas en los asfaltos se pueden englobar en dos categorías funcionales: polares y no polares.

El gran número de compuestos que forman parte de los betunes asfálticos hace necesaria la separación en grupos más homogéneos mediante técnicas de fraccionamiento para su identificación.

La mayoría de los procedimientos existentes hacen una primera separación de los betunes mediante precipitación con hidrocarburos saturados de bajo peso molecular (n-pentano o n-heptano). A la fracción insoluble se le denomina *asfaltenos* y a la soluble *maltenos*. Estos últimos a la vez pueden dividirse en saturados, nafteno-aromáticos y polares o resinas (**Figura 4**).

• **Asfaltenos:** Son sólidos amorfos de color marrón oscuro o negro, solubles en n-heptano. Están constituidos, además de carbono e hidrógeno, por nitrógeno, azufre y oxígeno, que dan lugar a ciclos tiofénicos y piridínicos que confieren una elevada polaridad. Los asfaltenos son considerados generalmente como hidrocarburos aromáticos altamente polares de elevado peso molecular. Se han empleado diferentes métodos para determinar los pesos moleculares y se han obtenido diferentes valores en el rango comprendido entre 600 y 300.000 dependiendo de la técnica de separación empleada. Sin embargo, la mayoría de los métodos empleados indican que el peso molecular de los asfaltenos varía entre 1.000 y 100.000. Sus partículas tienen tamaños comprendidos entre 5 y 30 nm y una relación H/C de 1:1. El contenido en asfaltenos tiene un importante efecto en las características reológicas del betún. Incrementando el contenido de asfaltenos obtenemos un betún de mayor dureza con menor penetración, mayor punto de reblandecimiento y consecuentemente mayor viscosidad. Los asfaltenos constituyen entre un 5 y un 25 % del betún. Determinar la estructura de los constituyentes de la fracción de asfaltenos es muy difícil. La gran complejidad de esta fracción no hace posible la formación de estructuras moleculares concretas, aunque se han postulado posibles estructuras como las que se muestran en la **Figura 5**.

• **Saturados:** Son aceites blancos no polares constituidos por hidrocarburos alifáticos lineales o con cadenas laterales alifáticas y aromáticas. El rango de peso molecular medio está comprendido entre 300 y 2.000. Esta fracción representa entre un 5 y un 20 % del betún. La **Figura 6** muestra alguna de las estructuras típicas.

• **Nafteno-aromáticos:** Comprenden los compuestos nafteno-aromáticos de menor peso molecular. Constituyen entre el 40 y el 65 % del total del betún y son un líquido viscoso de color marrón anaranjado. El peso molecular promedio de esta fracción es similar a la de los saturados. Consisten en cadenas no polares de carbono en las que dominan los sistemas de anillos

Figura 4. Separación de las fracciones del betún

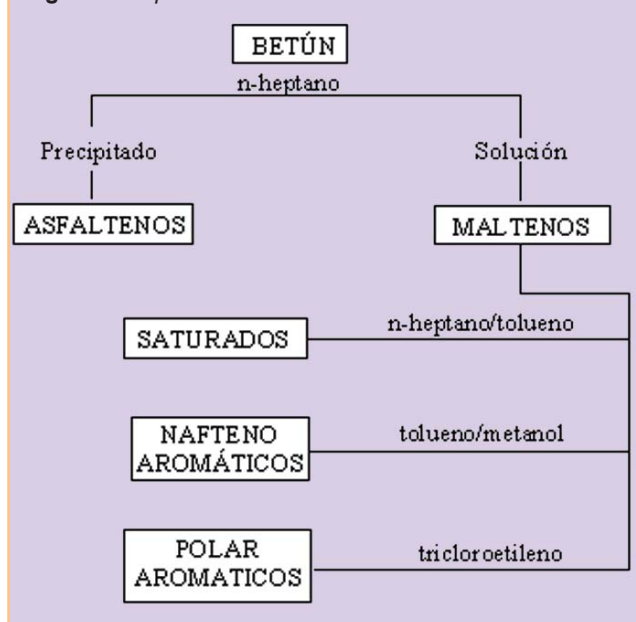


Figura 5. Moléculas de asfaltenos

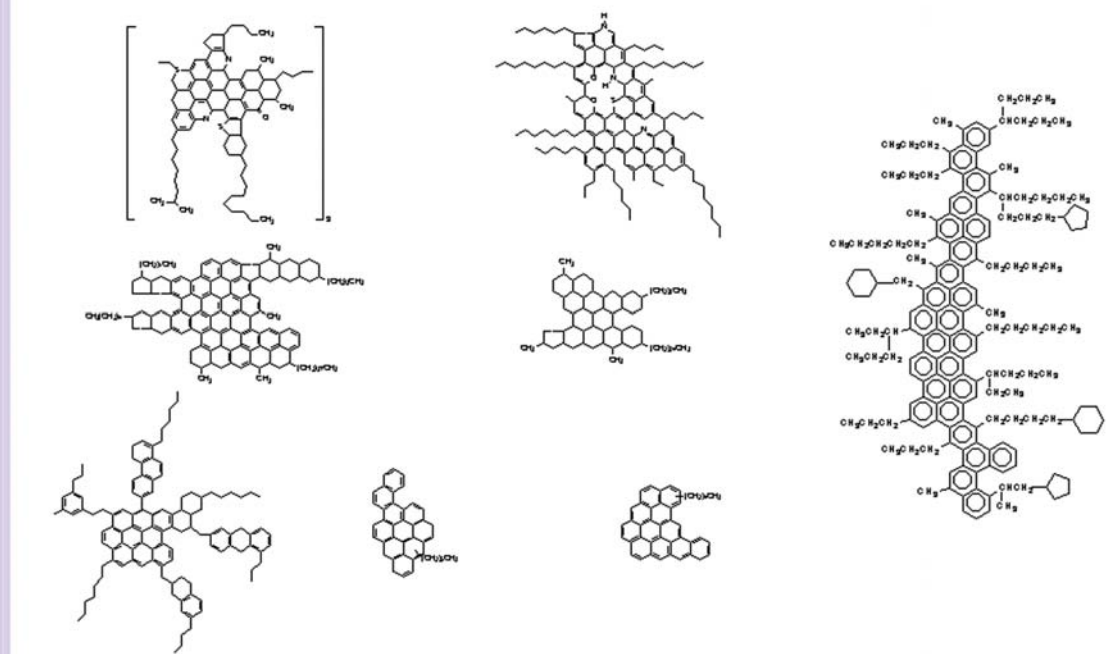


Figura 6. Moléculas de saturados

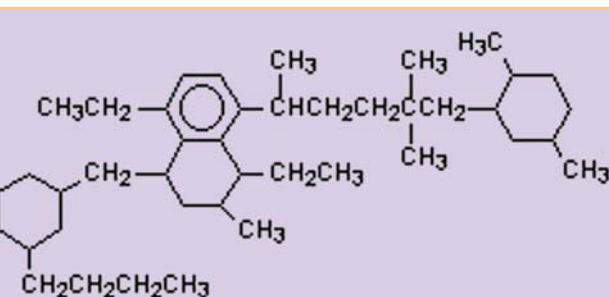
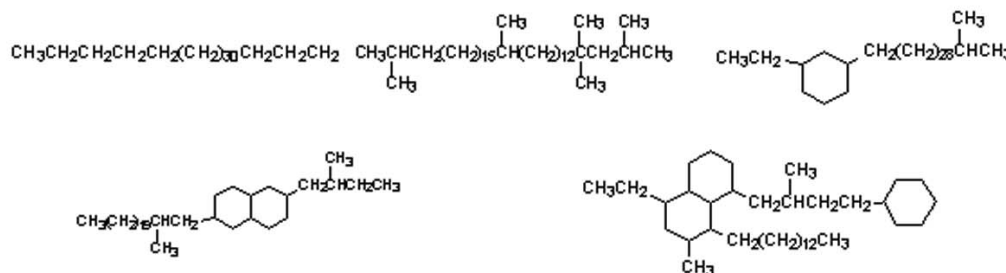


Figura 7. Estructura de nafteno-aromáticos

insaturados y tienen una gran capacidad para disolver los otros hidrocarburos de alto peso molecular. Alguna de las moléculas presentes en esta fracción puede ser la que muestra la **Figura 7**.

• **Resinas o polares:** Al igual que los asfaltenos tienen

una elevada proporción de hidrógeno y carbono y contienen pequeñas cantidades de oxígeno, azufre y nitrógeno. Son sólidos negros, brillantes y quebradizos y su naturaleza es muy polar. Esta particular característica les hace fuertemente adhesivos y peptizantes. Las resinas tienen pesos moleculares entre 500 y 50.000 y un tamaño de partícula de entre 1 y 5 nm y una relación H/C de 1.3 a 1.4. La Figura 8 muestra una posible estructura.

5. ESTRUCTURA DE LOS BETUNES:

Los betunes han sido tradicionalmente descritos como *sistemas coloidales* formados por micelas de asfaltenos de alto peso molecular dispersas o disueltas en un medio aceitoso de menor peso molecular que son los maltenos. Las micelas están formadas por uniones de asfaltenos con resinas aromáticas de alto peso molecu-

lar que actúan como peptizantes.

La presencia de la suficiente cantidad de resinas y aromáticos de adecuado poder de solvatación hace que las micelas resultantes tengan una buena movilidad en el interior del betún. Estos son los conocidos como betunes tipo SOL. Si la fracción aromáticos/resinas no está presente en la suficiente cantidad como para peptizar las micelas o tiene un poder de solvatación insuficiente los asfaltenos pueden asociarse juntos, dando lugar a estructuras irregulares abiertas en cuyos huecos internos se encuentra un fluido intermicelar de constitución variada. Estos betunes son conocidos como tipo GEL (Figura 9).

Entre estos dos tipos extremos de betunes existen toda una gama de estructuras intermedias. Además es necesario considerar que el sistema coloidal depende también de la temperatura.

El comportamiento coloidal de los asfaltenos en los betunes depende de la agregación y la solvatación. El grado en que estén peptizados tendrá una considerable influencia en la viscosidad resultante del sistema. Ambos efectos disminuyen con la temperatura y el

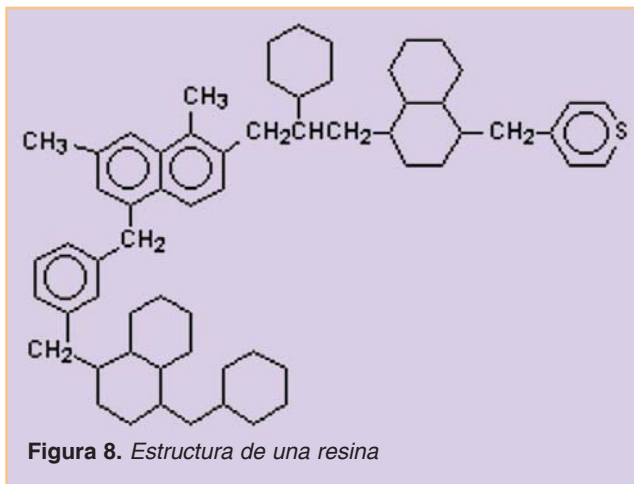


Figura 8. Estructura de una resina

carácter GEL de ciertos betunes puede incluso llegar a perderse cuando se calienta a altas temperaturas. La viscosidad de los saturados, aromáticos y resinas depende de su distribución de pesos moleculares. Cuanto mayor es el peso molecular mayor es la viscosidad. La viscosidad de la fase continua, como por ejemplo los maltenos, confiere una viscosidad inherente al betún que se incrementa con la presencia de la fase dispersa, como por ejemplo los asfaltenos. La fracción saturada disminuye la capacidad de los maltenos para solvatar a los asfaltenos debido a que la gran concentración de saturados puede llevar a la aglomeración de los asfaltenos. Así el incremento del carácter GEL a baja temperatura resulta no sólo del contenido de asfaltenos, sino también del contenido en saturados.

Gaestel y colaboradores cuantifican el estado coloidal de un betún asfáltico a partir de su composición determinada por el método de Hubbard y Stanfield mediante el concepto de *índice de inestabilidad coloidal* (IC), definido por la relación:

$$IC = (\text{Asfaltenos} + \text{Saturados}) / (\text{Resinas} + \text{Aromáticos})$$

Cuanto más elevado sea este índice mayor será el carácter GEL y por tanto peor su estabilidad coloidal.

En los betunes con un valor elevado de este índice hay una separación de fases con exudación de los aceites y precipitación de los asfaltenos. Por el contrario, betunes con valores bajos de este índice presentan una estructura SOL y una buena estabilidad coloidal.

6. RELACIÓN ENTRE CONSTITUCIÓN, ESTRUCTURA Y REOLOGÍA.

La mezcla sistemática de las fracciones de asfaltenos, saturados, aromáticos y resinas han demostrado que la reología de los betunes depende de su constitución^{8,9,10,11,12}. Manteniendo constante el contenido de asfaltenos y variando la concentración de las otras frac-

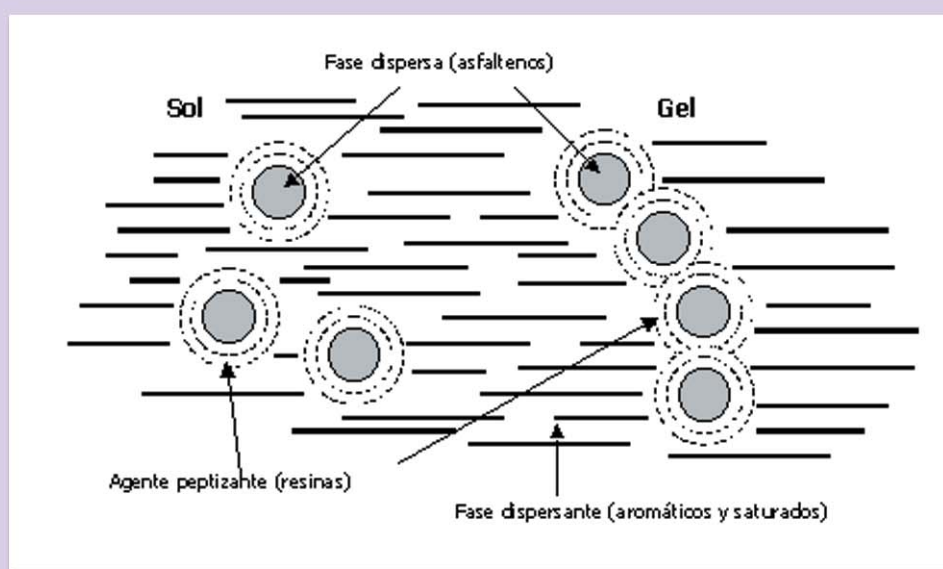


Figura 9. Estructura micelar de los betunes⁴

ciones se ha demostrado que:

- Incrementando el contenido de aromáticos en una relación constante de saturados y polares, se observa un pequeño efecto en la reología, con un ligero descenso en la susceptibilidad a la cizalla.
- Aumentando los saturados en una relación constante de polares y aromáticos aumenta la penetración del betún.
- Aumentando los polares se endurece el betún, se reduce el índice de penetración y la susceptibilidad a la cizalla y aumenta la viscosidad.

Se demuestra claramente que las propiedades reológicas de los betunes tienen una fuerte dependencia del contenido de asfaltenos. A temperatura constante la viscosidad de un betún depende de los asfaltenos, pero no sólo se debe al aumento de fase dispersa en un sistema coloidal, sino a que los asfaltenos tienden a asociarse entre sí y con los compuestos peptizantes, formando estructuras asociadas que, en último caso provocan la estructura tipo GEL.

Lo importante de esta estructura coloidal es que está relacionada con el comportamiento de los betunes y en especial con las propiedades reológicas; así los betunes tipo SOL tienen un comportamiento próximo al de un fluido newtoniano, mientras que los de tipo GEL tienen un comportamiento viscoelástico.

7. PROPIEDADES

Las propiedades fundamentales que debe tener un betún asfáltico para su utilización en carreteras son las siguientes:

- Buen comportamiento reológico.
- Buena adhesividad de los áridos.
- Resistencia al envejecimiento.

7.1. Comportamiento reológico.

El comportamiento reológico de los betunes asfálticos es de fundamental importancia para su empleo en carreteras, tanto para conseguir una correcta manipulación y puesta en obra como para valorar su comportamiento en servicio.

Los betunes asfálticos presentan un comportamiento reológico muy complejo, que depende de la temperatura, de la carga y del tiempo de aplicación de la misma.

A altas temperaturas el betún se comporta como un fluido newtoniano, lo que permite realizar la mezcla íntima con los áridos.

A baja temperatura el betún pasa a comportarse 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.

Por último, a muy bajas temperaturas el betún se rigidiza, perdiendo flexibilidad y pudiendo dar lugar a problemas de agrietamiento.

7.2. Adhesividad.

Esta propiedad es necesaria para que el betún pueda cumplir su función como ligante gracias a su poder aglomerante.

Para que el ligante se adhiera a los áridos es necesario que haya un buen contacto entre la superficie del árido y el betún y que existan fuerzas de atracción entre ambos.

En general esta adhesividad es de tipo pasivo, por lo que el agua desplazaría al betún de no ser por la resistencia mecánica que opone el ligante debido a su elevada viscosidad a las temperaturas de servicio.

7.3. Resistencia al envejecimiento.

Envejecimiento es el nombre que se le da a una serie de cambios en las propiedades de los materiales, que ocurren durante periodos de tiempo más o menos largos y que originan la degradación total o parcial de los mismos.

Los betunes asfálticos presentan una gran resistencia al envejecimiento como consecuencia de su naturaleza fundamentalmente hidrocarbonada de baja reactividad; pero durante su manipulación y periodo de servicio están sometidos a una serie de factores y agentes externos que originan cambios en su composición y repercuten negativamente sobre sus propiedades.

En primer lugar está el envejecimiento producido durante el transporte en cisternas y almacenamiento, en los que la principal causa es la temperatura. Posteriormente, durante el proceso de mezcla además de las altas temperaturas hay presencia de oxígeno atmosférico, así como procesos de adsorción de los áridos. Por último, durante su servicio los betunes se degradan por las fuertes sollicitaciones del tráfico (fatiga por aplicación de cargas), las variaciones de temperatura (fatiga térmica), la presencia de agua, etc pero además están expuestos a los agentes ambientales y a los lubricantes y carburantes que arrojan los coches.

8. ALMACENAMIENTO Y TEMPERATURAS DE MANEJO DE LOS BETUNES.

Todos los betunes deben ser almacenados en tanques específicamente diseñados para tal propósito. Para minimizar el posible endurecimiento del betún durante el almacenamiento han de considerarse ciertos aspectos en el diseño de los tanques.

- Para minimizar el riesgo de sobrecalentamiento del

betún, el tanque debe tener reguladores de temperatura y dispositivos de lectura que deben estar posicionados en la zona de calentamiento y que puedan ser sacados para limpiarlos regularmente y que su mantenimiento sea más fácil.

· La oxidación y la pérdida de volátiles del betún están relacionadas con la relación superficie expuesta-volumen en el tanque de almacenamiento. Así pues, las dimensiones de los tanques de almacenamiento deben minimizar la relación superficie-volumen de modo que los tanques verticales con una gran relación altura radio son preferibles a los tanques horizontales.

Los betunes deben ser siempre almacenados y manejados a la mínima temperatura posible que permita un uso eficiente. Hay una serie de temperaturas de trabajo calculadas basándose en medidas de viscosidad, en la experiencia práctica y en las especificaciones. Para operaciones normales tales como mezcla o trasvase de betún líquido, se recomiendan temperaturas de entre 10 a 50 °C por encima de la mínima temperatura de bombeo, pero nunca sobrepasando los 230 °C para prevenir la autoignición del betún.

El tiempo de almacenamiento a elevada temperatura y la recirculación deben ser minimizados para evitar el endurecimiento del betún. Si el betún debe ser almacenado por un largo periodo de tiempo, como por ejemplo más de una semana sin adición de material nuevo, la temperatura debe reducirse aproximadamente entre 20 y 25 °C por encima del punto de reblandecimiento del betún y, si es posible, detener la recirculación.

Cuando un betún está siendo recalentado en un tanque de almacenamiento se ha de tener gran cuidado y calentar intermitentemente durante un largo periodo de tiempo para evitar un sobrecalentamiento localizado del producto alrededor de la zona de calentamiento. Cuando el sistema de calentamiento es de ignición, es

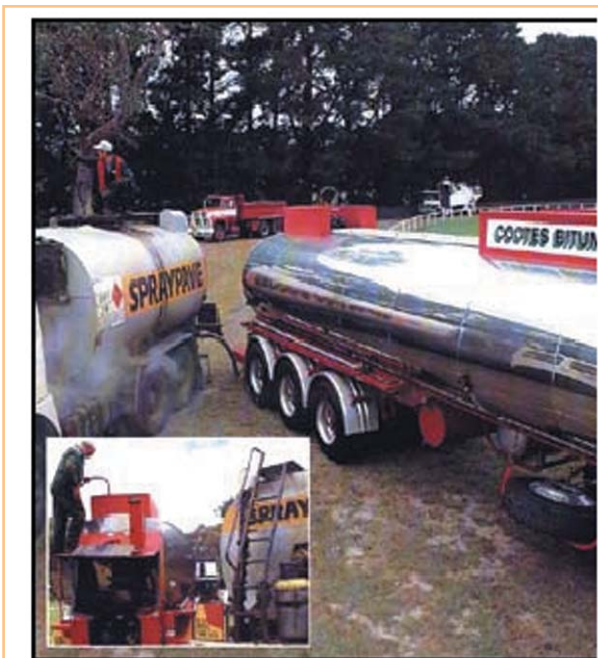


Figura 10. Tanques de almacenamiento de betunes

particularmente importante donde la llama del tubo de calentamiento está actuando directamente porque se pueden alcanzar temperaturas por encima de los 300°C. De hecho, en los instantes iniciales solo se puede aplicar una cantidad limitada de calor, suficiente para alcanzar ligeramente por encima la temperatura de reblandecimiento del producto.

9. ENVEJECIMIENTO DE BETUNES

La consistencia de las propiedades del betún y su dependencia de la temperatura viene determinada por su contenido en asfaltenos y maltenos. La naturaleza de los cambios observados en la composición del betún durante su envejecimiento explica por qué la penetración disminuye, la viscosidad aumenta y las temperaturas de anillo y bola y Fraass también aumentan⁴.

Las principales causas de envejecimiento de un betún es la pérdida de volátiles y la oxidación de ciertas moléculas con la formación de interacciones fuertes entre grupos que contiene oxígeno. La luz ultravioleta (fotodegradación) y la evaporación (volatilización) también contribuyen al envejecimiento.

Cuando un betún envejece a través de procesos de oxidación, los puntos potencialmente activos de las moléculas (como hidrógenos bencílicos y sulfuros alifáticos) se convierten a través de su reacción con oxígeno en puntos polares (carbonilos y sulfóxidos respectivamente). Estos puntos polares contribuyen a aumentar las interacciones polar-polar conduciendo a un aumento de la viscosidad. Después de la oxidación muchas de las interacciones polar-polar conducen a la formación de cadenas, provocando una mayor ganancia de viscosidad y mayores índices de envejecimiento a través de procesos de polimerización o condensación.

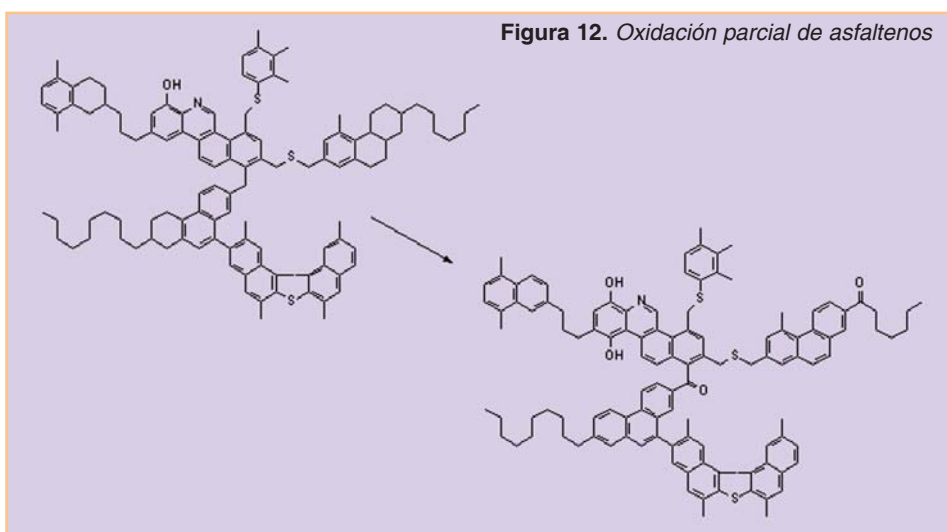
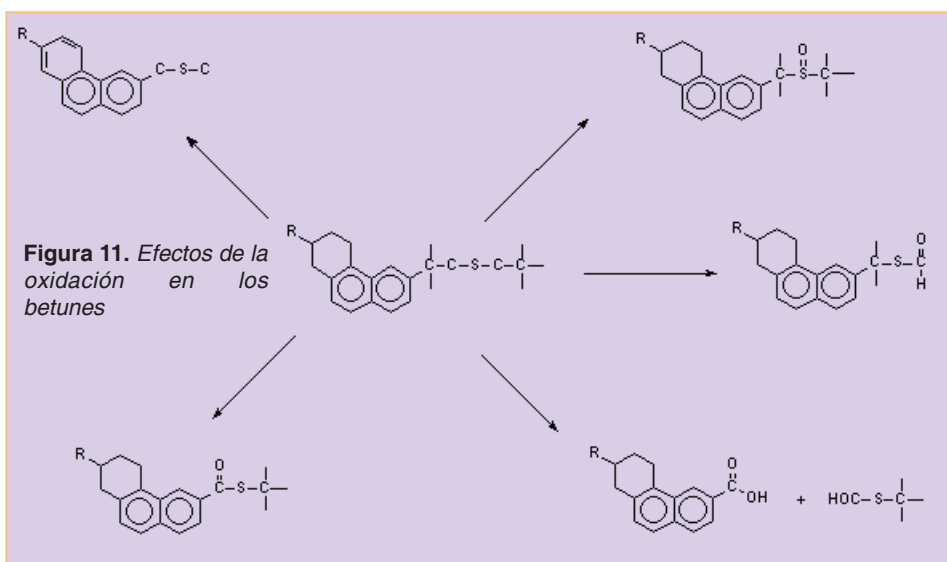
Los efectos de la oxidación de la estructura del betún se pueden resumir en:

- Deshidrogenación.
- Oxidación de sulfuros de alquilo a sulfóxidos.
- Oxidación de carbonos bencílicos a carbonilos.
- Ruptura de cadenas con la consiguiente formación de ácidos orgánicos.

Estos procesos conducen al aumento de la aromaticidad, de la polaridad, de la acidez y a la condensación de las moléculas.

Los efectos de la oxidación de los betunes pueden verse en la **Figura 11**.

En la **Figura 12** se muestra un modelo de oxidación parcial de asfaltenos. Se puede observar como la relación O/C aumenta considerablemente, así como también aumenta el peso molecular. La relación H/C disminuye, lo que indica un aumento de la aromaticidad del sistema.



Los grupos funcionales que sufren un mayor aumento durante la oxidación son los carbonilos y sulfóxidos. Estos cambios que se producen en un betún durante su envejecimiento pueden ser estudiados mediante espectroscopía de IR que indica la presencia o ausencia de grupos funcionales.

Las regiones de IR de mayor importancia en el proceso de envejecimiento de un betún son las siguientes:

- 1750-1650 cm^{-1} (banda de carbonilos)
- 1625-1560 cm^{-1} (banda de aromáticos)
- 1050-950 cm^{-1} (banda de sulfóxidos)

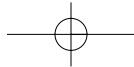
Es especialmente útil la zona de 1700 cm^{-1} (área de carbonilos) que está directamente relacionada con el grado de envejecimiento.

10. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.

En este artículo se ha pretendido dar a conocer desde la óptica de los químicos los aspectos básicos y fundamentales de uno de los materiales más antiguos conocidos y utilizados por el hombre. Las propiedades adhesivas e impermeabilizantes de los betunes han permitido su utilización para numerosos fines, siendo actualmente uno de los componentes necesarios en la construcción de las carreteras y autopistas que determinan el desarrollo económico de un país. En este sentido, durante los últimos años se ha buscado la obtención de betunes con mejores propiedades reológicas mediante el uso de diferentes polímeros que mezclados con el betún modifican alguna característica del betún inicial para su posterior uso en una aplicación concreta como puede ser la impermeabilización de superficies. Alternativamente, la modificación química de betunes por reacción de ciertos reactivos con funciones químicas con los componentes del betún

original conduce, igualmente, a la alteración y mejora de las propiedades reológicas del betún, presentando así un valor añadido.

Los betunes modificados suponen un paso más en el conocimiento y uso de los betunes originales que permitirán seguir contando para el futuro con un material que por su propia naturaleza y composición sigue siendo un reto para la química e ingeniería.



REFERENCIAS

- Rodríguez I. Nuevos Materiales Betún-Polímero para la Impermeabilización.
- Edwin J., Barth. Science Publishers. Asphalts Sciencie and Technology New York London (1962).
- Abraham H. Ed. Van Nostrand Company. Asphalts and Allied Substances. New York (1945).
- CURSO TÉCNICO DEL CEDEX. Introducción a la tecnología del betún y las mezclas bituminosas de carreteras.
- a) SHELL BITUMEN HANDBOOK b) Wargadalam V. J., Norigana K., lino M. FUEL 81 (2002) c) Groenzin H., Mullins O. C., J. Phys. Chem. A, 103 (1999)
- Attwold A., W. Broome D., C. Trinidad Lake Asphalt. Third Edition. The Baynard Press, London 1962.
- INFORME TÉCNICO DEL CEDEX. Betunes.
- McKay J. R. et al.: Petroleum Asphaltenes: Chemistry and Composition. Advances in Chemistry Series No. 170, Paper 9. Para trabajos más recientes consultar b) Shashidhar N., Needham S. P., Chollar B. H., Transportation Research Record.
- Reerink, H: Size and Shape of Asphaltenes Particles in Relationship to High Temperature Viscosity. Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Debe., Vol 12, No 1, 1973.
- Griffin R. L. And Milles T. K. : Relationship of Asphalt Properties to Chemical Constitution. Journal of Chemical and Engineering Data, Vol 6, July 1961. Para trabajos más recientes consultar b) Chollar B. H. et al. Characteristics of Furfural Modified Asphalts (1993)
- Griffin R. L. et al.: Influence of Composition of Paving Asphalt on Viscosity, Viscosity/Temperature, susceptibility and Durability. Journal of Chemical and Engineering Data, Vol 4, No 4, October 1959.
- ASTM Special Publication: The influence of Asphalt Composition on Rheology. No 294, 1960.

Normas de publicación

Normas de publicación en Anales de la Real Sociedad Española de Química.

Anales de la Real Sociedad Española de Química publica trabajos científicos especializados o de revisión, de divulgación en el campo de la química que sean de calidad e interés para la mayoría de los profesionales de la docencia, investigación y de la industria química.

Nuestra revista presta una atención especial a la "Química y Medio Ambiente", por lo que los trabajos científicos divulgativos en este campo serán igualmente considerados. Serán también bienvenidos aquellos trabajos sobre historia didáctica de nuestra disciplina, así como los dedicados a la docencia teórica y práctica de la química en cualquiera de sus niveles. Los manuscritos deberán enviarse en versión informatizada en diskete mediante los procesadores de texto habituales, escritos a doble espacio y con una extensión máxima de 15 páginas (figuras no incluidas), junto con dos copias impresas y una fotografía del autor o autores, (preferiblemente no de tipo carnet).

Se sugiere la confección del manuscrito según las normas generales de publicación de la ACS. Finalmente, se sugiere a los autores el envío de figuras o fotografías en color (en papel, diapositivas o digitalizadas en formato .tiff) para una mejor calidad de impresión e ilustración de su artículo.

Todo el material antes reseñado debe enviarse a:



Real Sociedad Española de Química.
Editor
Ciudad Universitaria
Facultad de Química
Universidad Complutense
28040 Madrid

