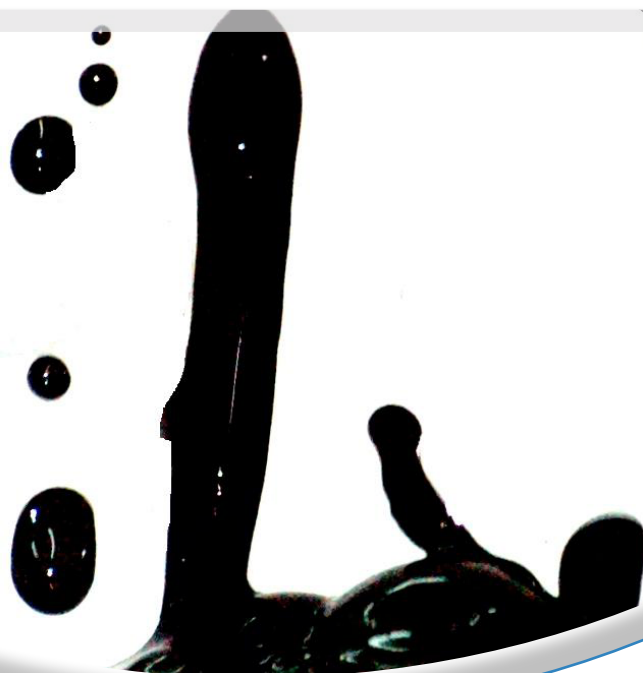


LAS EMULSIONES DE BETÚN SU QUÍMICA Y SU FÍSICA

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS (ATEB)



ATEB

www.ateb.es

1ª Edición octubre de 2018

Diseño y realización: Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas

Reservados todos los derechos

La Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas no autoriza la reproducción parcial ni total de este documento, sin el permiso previo y por escrito de la misma.

AUTORES

AUTOR ORIGINAL

D. Pedro Ferré Franquet

AUTORES DE LA REVISIÓN

Dña. Lucía Miranda Pérez . Secretariado Comité Técnico ATEB (Repsol)

D. Santiago Gil Redondo. Coordinador del GT-4 (Seguridad, salud y medioambiente) (Ravago Chemicals)

COMITÉ TÉCNICO

Dña. María del Mar Colas. Directora del Comité Técnico (Cepsa Comercial Petróleo)

Dña. Lucía Miranda. Secretaria del Comité Técnico y coordinador del GT-1 (Normativa) (Repsol)

D. Daniel Andaluz. Director-Gerente (ATEB)

Dña. Marisol Barral . Coordinadora del GT-3 (Mezclas Templadas) (Campezo)

D. Santiago Gil. Coordinador del GT-4 (Seguridad, salud y medioambiente) (Ravago Chemicals)

Dña. Nuria Querol. Coordinadora del GT-5 y GT-8 (Documentación y Reciclado en frío) (Sorigué)

Dña. Nuria Uguet. Coordinadora del GT-6 (Nuevos campos de aplicación) (Eurovia Management España)

D. Alfonso Pérez. Coordinador del GT-7 (Lechadas bituminosas y Microaglomerados en frío) (Eurovia Management España)

1. INTRODUCCIÓN

2. LAS EMULSIONES DE BETÚN

3. COMPONENTES DE UNA EMULSIÓN BITUMINOSA

3.1 El betún

3.2 El agua

3.3 El tensioactivo

3.3.1 Tensioactivos Aniónicos

3.3.2 Tensioactivos Catiónicos

3.3.3 Tensioactivos Anfóteros ó Anfotéricos

3.3.4 Tensioactivos no-iónicos

3.4 Aditivos

4. FABRICACIÓN DE UNA EMULSIÓN BITUMINOSA

5. LAS EMULSIONES BITUMINOSAS Y EL PROCESO DE EMULSIFICACIÓN

6. LAS EMULSIONES BITUMINOSAS Y SU ESTABILIDAD

6.1 Propiedades de la emulsión: Viscosidad

6.2 Propiedades de la emulsión: Velocidad de rotura

6.3 Propiedades de la emulsión: Adhesividad

7. NORMATIVA

7.1 Las emulsiones catiónicas: Norma EN 13808

7.2 Emulsiones aniónicas

7.3 Métodos de ensayo

1. INTRODUCCIÓN

El término emulsión, procedente del latín “emulsus” significa ordeñado, fue registrado en el diccionario de la Real Academia Española en 1803, como: “una bebida parecida a la leche, que se extrae de varias simientes, majándolas en un mortero y echando agua en él poco a poco”; es decir sería lo que se conoce como horchata”. Su expresión ha ido evolucionando hasta llegar a la definición científica de 1984 y la actual, como “Dispersión de un líquido en otro no miscible con él”.

En la naturaleza, incluso más concretamente en nuestra vida cotidiana, las emulsiones constituyen un grupo de productos muy amplio. Un ejemplo, muy típico y cercano de una emulsión es la leche, que básicamente consiste en una dispersión de partículas de grasa en un medio acuoso. También son emulsiones numerosos productos procedentes de la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica y química.



Figura 1: Tipos de emulsiones, (izq) leche, (dcha) mayonesa

Existen muchos tipos de emulsiones pero esta monografía se centrará en las emulsiones de dos líquidos, correspondientes a un sistema formado por una fase dispersa, en forma de pequeñísimas partículas que se encuentran distribuidas en el seno de otro líquido que formaría la fase continua o dispersante y donde algunas de sus características son las siguientes:

- Es un **sistema termodinámicamente inestable** en donde las moléculas de la fase dispersa tienden a asociarse separándose de la fase dispersante, bien por precipitación o por migración a la superficie, según la diferencia de densidades entre las dos fases (Lissant, 1984).
- El **tamaño de partícula** en forma de pequeñas gotas esféricas de la fase dispersa para conseguir cierta estabilidad, presentan un tamaño entre 0,1 u 20 μm distribuidas en la fase continua.
- El **tamaño de partículas** en general no es uniforme sino que presenta una distribución de tamaños que dependerá del grado de dispersión.

- Para la formación de este sistema es necesario la **aplicación de energía** que permita reducir la tensión interfacial entre las dos fases.

- Para conseguir esta dispersión, es necesario el **empleo de una serie de compuestos "tensioactivos"** que permiten disminuir la tensión interfacial entre las dos fases para obtener una mayor estabilidad en el sistema llegando a formar, en algunos casos, sistemas termodinámicamente estables, este es el caso de las microemulsiones. Este tipo de dispersiones presentan múltiples aplicaciones tanto a nivel industrial como tecnológico, siendo empleadas en muy diversos campos. Un ejemplo de ello son las emulsiones bituminosas que se emplean en carreteras.

Dependiendo de las características de cada una de las fases se puede hacer una clasificación de las emulsiones en directas, inversas múltiples.

Las emulsiones directas son aquellas en las que la fase dispersa es una sustancia lipofílica (grasa o aceitosa) y la fase continua es hidrofílica (normalmente agua). Estas emulsiones suelen denominarse L/H o O/W. Ejemplos son además de las emulsiones bituminosas, la leche, la mayonesa, algunos tipos de pinturas, y muchos otros productos alimentarios y fitosanitarios.

Las emulsiones inversas por el contrario son las que la fase dispersa es una sustancia hidrofílica y la fase continua es lipofílica. Estas emulsiones suelen denominarse con la abreviatura H/L o W/O. Como ejemplos pueden citarse las margarinas, fluidos hidráulicos y la mayoría de las cremas cosméticas.

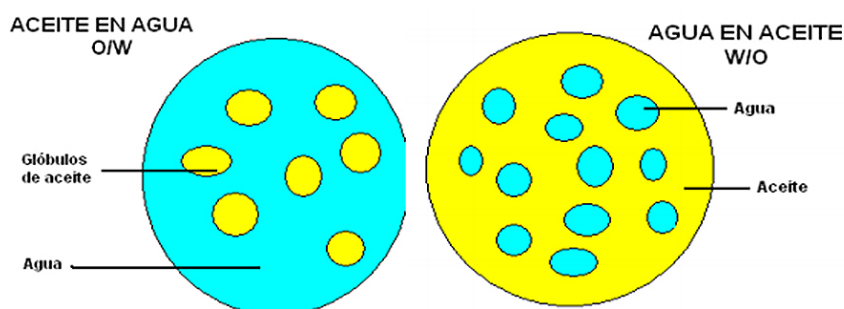


Figura 2: Esquema de emulsiones directas O/W e inversa W/O

Finalmente **las emulsiones múltiples** son las que como fase dispersa contiene una emulsión inversa y la fase continua es un líquido acuoso W/O/W o viceversa O/W/O donde se combinan sustancias hidrófilas y lipófilas.

Este tipo de emulsiones son utilizadas básicamente en farmacia, donde lo que se busca es obtener una liberación retardada de algunos de los componentes.

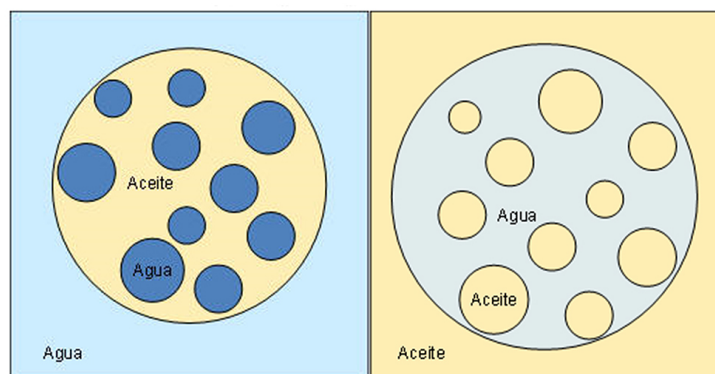


Figura 3: Esquema de emulsiones múltiples W/OW ó O/W/O

Otras clasificaciones hacen referencia al tamaño de los glóbulos que constituyen la fase dispersada, y así se clasifican en: emulsiones, nanoemulsiones y microemulsiones.

Las emulsiones presentan un diámetro de gota con un rango de 0,1 a 20 μm , son termodinámicamente inestables y se pueden convertir en sistemas cinéticamente estables con la presencia de agentes tensioactivos con capacidad de absorción en la superficie de las gotas.

Las nanoemulsiones presentan un tamaño de las gotas en el rango entre 20-200 nm (1 nm= 1 mil millonésima de metro), no son sistemas en equilibrio termodinámico aunque pueden tener una elevada estabilidad cinética.

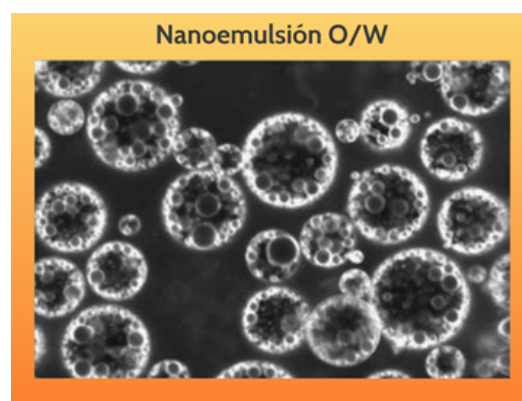
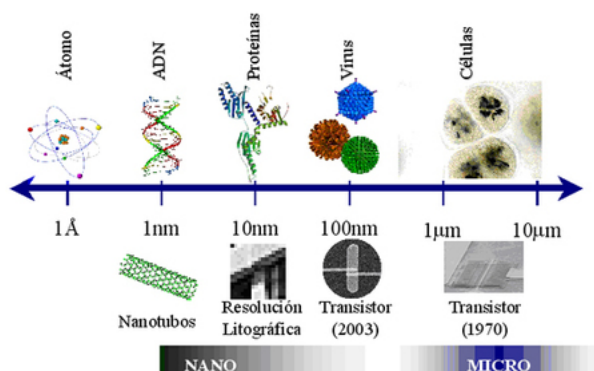
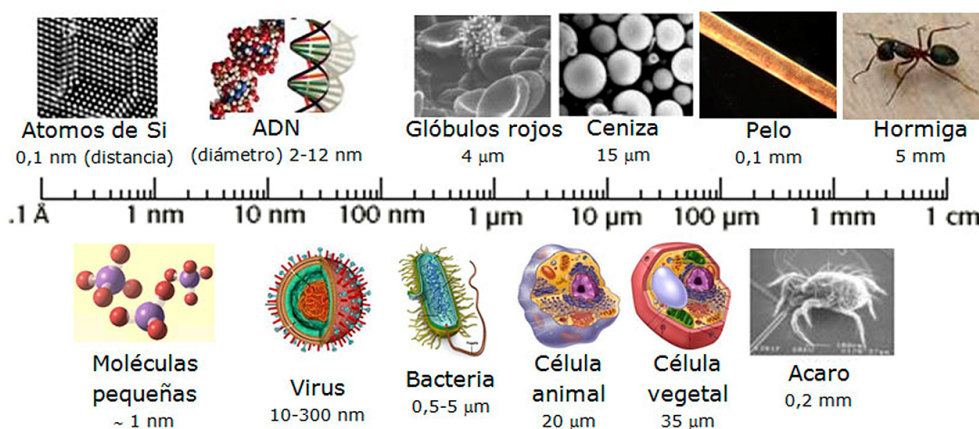


Figura 4: Presentación del aspecto de una nanoemulsión O/W (dcha) y comparativa de tamaños de diferentes materiales frente a sustancias "nano" (izq)

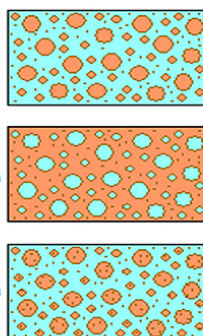


Fuente: iEurekai más allá de la tiza. Magnitudes y unidades (blog.educastur.es/eureka/4º-fyq-magnitudes-y-unidades/)

Las microemulsiones son dispersiones ópticamente transparentes que forman un sistema termodinámicamente estable y con un tamaño de gota de máximo de 200 nm. Se forman espontáneamente al mezclar sus componentes en unas condiciones de composición y temperatura adecuadas.

Por tipos de fases:

- **Directas: O/W**
Fase dispersada **lipofílica**
Fase continua **hidrofílica**
- **Inversas: W/O**
Fase dispersada **hidrofílica**
Fase continua **lipofílica**
- **Múltiples W/O/W**
Fase dispersada **hidrofílica**
Fase dispersada **lipofílica**
Fase continua **hidrofílica**



Por el tamaño de micela:

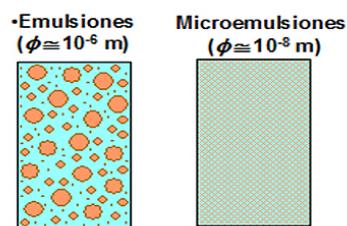


Figura 5: Esquema de diferentes tipos de emulsiones y comparativa frente al aspecto de una microemulsión

Las emulsiones bituminosas se engloban dentro de la clasificación de las emulsiones aunque la tendencia de los desarrollos tecnológicos presenta una tendencia a la obtención de nanoemulsiones.

2. LAS EMULSIONES DE BETÚN

Históricamente, se dispone de información sobre el empleo de materiales asfálticos que datan de los años 1400 y 600 A.C siendo uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado, empleado además en otros tipos de aplicaciones tan diferentes como por ejemplo en tratamientos de enfermedades de la piel y como desinfectante tópico.

Inicialmente el asfalto procedía de yacimientos naturales pero no es hasta 1902 donde en Estados Unidos, se inicia el empleo de asfaltos destilados de petróleo lo que constituye hasta la actualidad la principal fuente de abastecimiento de betunes.

Con la aparición del desarrollo automovilístico en el siglo XIX empezaron a aparecer nuevos tratamientos bituminosos, y es en 1903, cuando se dispone de información sobre una aplicación superficial de emulsión bituminosa como riego, para el tratamiento del polvo, pero no es hasta 1922 cuando aparece la primera patente de una emulsión de betún así como fábricas de emulsiones en varios países, Estados Unidos, Francia, Inglaterra, Alemania, Australia, etc. Se estima que la producción mundial de emulsiones en el año 1926 fue de 150.000 t.



Carroll Street, Brooklyn, NY, antes y después de ser pavimentada con asfalto en 1900

Figura 6: Fotografía de una aplicación de asfalto en 1900 (Fuente: Ingenia Viarum: 1902: El asfalto se abre paso. Publicado por Jose Manuel Sanz en Abril de 2016)

Entre los años 1930 y 1940 creció lentamente el volumen de emulsiones bituminosas utilizadas, viéndose reducido después de la segunda guerra mundial, por el aumento de la cantidad y las cargas de vehículos siendo sustituida por el auge de la tecnología en caliente con el empleo de betún como ligante.

A partir de los años 70 hubo un repunte en el uso de emulsiones bituminosas incentivado por:

- La **crisis** energética de los años 70
- La **contribución** en la reducción de la contaminación atmosférica
- La **reducción** en el consumo de combustibles al no requerir el calentamiento y secado de los áridos

Todos estos factores se pueden extrapolar en la actualidad, e incluso añadir otros aspectos como:

- El **desarrollo de la tecnología** con la posibilidad de fabricar una gran variedad de emulsiones
- Los **avances** en el desarrollo de tensioactivos que permite conseguir emulsiones con unas propiedades cada vez más eficientes
- Posibilidad de **empleo de emulsiones** en aplicaciones mejorando las prestaciones en cuanto a su puesta en obra y puesta en servicio

El objetivo que se persigue al utilizar emulsiones bituminosas es conseguir que la puesta en obra del ligante hidrocarbonado, pueda realizarse bien a temperatura ambiente sin necesidad de calentarlo o bien utilizando técnicas que reduzcan su calentamiento como es el caso de la tecnología de las mezclas templadas.

Las primeras emulsiones que se fabricaron eran de naturaleza aniónica, y no es hasta 1951, cuando aparecen en el mercado las emulsiones catiónicas, lo que les confieren casi universalidad de uso (ya sea con cualquier tipo de árido como en condiciones meteorológicas menos favorables), y es cuando las emulsiones bituminosas alcanzan su pleno desarrollo.

En España el desarrollo de las emulsiones bituminosas se produce con cierto retraso con respecto a otros países.

En la actualidad España se encuentra entre los 11 primeros productores mundiales de emulsiones, el tercero en Europa después de Francia y Reino Unido, siendo el mayor productor Estados Unidos.

Cabe destacar el auge del empleo de emulsiones bituminosas en países como Rusia, dentro del continente europeo o Brasil y Méjico en América del Sur y destacando también la presencia de China en Asia.

En el siguiente gráfico se puede observar la distribución de los países productores de emulsiones bituminosas en el año 2013.

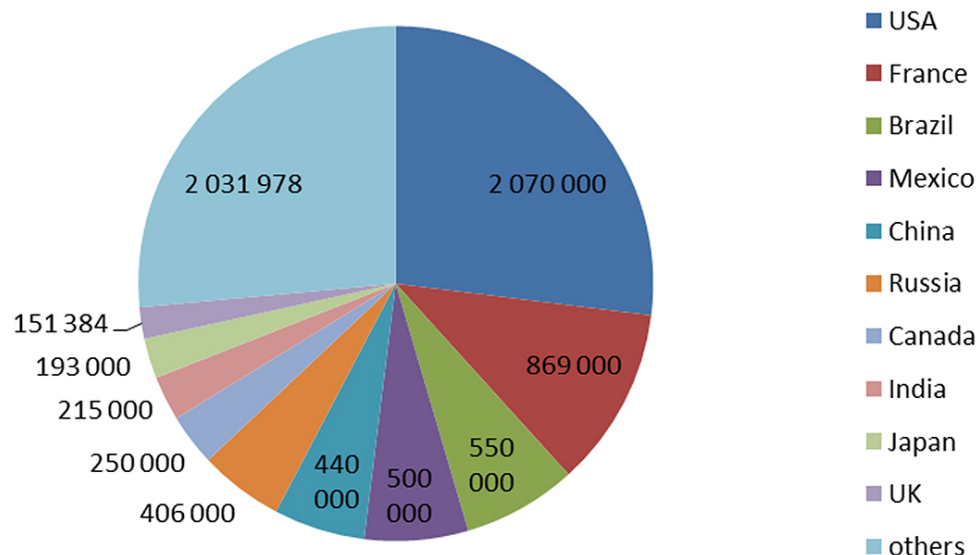
2013

Figura 7: Distribución de los países productores de emulsiones bituminosas (año 2013)

Esta panorámica muestra la amplia extensión de la tecnología de emulsiones bituminosas en todo el mundo, así como en diferentes tipos de climas.

La producción de emulsiones bituminosas se ha reducido en los últimos años frente al empleo de betunes, a pesar de ello en el año 2013 el volumen de emulsiones fabricadas se situaba en torno a los 8 millones de toneladas siguiendo en tendencia progresiva de aumento en los años sucesivos.

Dentro del volumen producido, el porcentaje destinado a carreteras supera el 95 % de la producción mundial sin olvidar otro tipo de aplicaciones como por ejemplo en impermeabilización de cubiertas, pinturas, etc.

La información recogida en esta monografía, en los aspectos generales, es extensible a cualquier tipo de emulsiones bituminosas independientemente de su aplicación. No obstante al final de la misma, se describen características específicas de las emulsiones empleadas en carreteras, por un lado para las emulsiones catiónicas en cuanto a los requisitos normativos relacionados con el Mercado CE, según los requerimientos del Reglamento de Productos de la Construcción, obligatorio para la comercialización de este tipo de materiales, sin olvidar las emulsiones aniónicas también empleadas en carreteras, y de las cuales también se describe su normativa específica así como sus propiedades.

3. COMPONENTES DE UNA EMULSIÓN BITUMINOSA

Una emulsión bituminosa es una mezcla de dos líquidos no miscibles entre sí, betún y agua, formando un sistema en donde la fase dispersa corresponde a las partículas de betún, con un tamaño de algunas micras, que se encuentran uniformemente distribuidas en la fase dispersante que corresponde al agua.

Para llegar a conseguir la dispersión del betún hasta estos tamaños, es necesario la aplicación de una fuerza de cizalla, a través de un molino coloidal, así como la presencia de un componente fundamental, el tensioactivo, que proporciona la estabilidad para evitar la unión de los glóbulos a partir de la repulsión electrostática de las partículas cargadas permitiendo de esta forma su fabricación y empleo.

A estos tres componentes básicos se pueden añadir en función de las necesidades de empleo de la emulsión, otros productos como fluidificantes, espesantes, activantes y a veces retardadores de la rotura.

EL BETÚN

El betún constituye la fase discontinua o dispersa, y representa entre el 50 y el 70% de la emulsión. Su composición química influye en su capacidad de emulsificación.

Se pueden emplear tanto betunes de penetración, como betunes fluidificados o modificados con polímeros, en función del uso previsto y las propiedades que la emulsión debe aportar al sustrato donde se aplica.

Los betunes de penetración más utilizados corresponden a los denominados como 70/100 y 160/220 dmm, aunque también se fabrican emulsiones con betunes de menores penetraciones como los tipos 15/25, 35/50 ó 50/70 dmm, cuando es necesario conseguir un ligante residual de mayor consistencia como es el caso de las emulsiones termoadherentes y algunas emulsiones para mezclas templadas.

Con el empleo de betunes modificados con polímeros, se consigue un ligante residual con propiedades elásticas y adhesivas mejorando sus prestaciones. Estos ligantes son modificados principalmente por polímeros tipo SBS y las poliolefinas del tipo EVA, aunque también existen experiencias recientes con el empleo de polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso.

Además de conseguir la modificación del ligante residual con betunes modificados, es también habitual el empleo de polímeros incorporados o bien directamente sobre la emulsión una vez fabricada, o bien en la fase dispersante, este es el caso del látex cuya composición puede ser caucho natural o sintético.

Con el empleo de látex como agente modificador de la emulsión se consigue una emulsión bifásica mientras que con el empleo de betunes modificados se consigue una emulsión monofásica donde la fase dispersa es el propio betún modificado empleado en la fabricación de la emulsión.

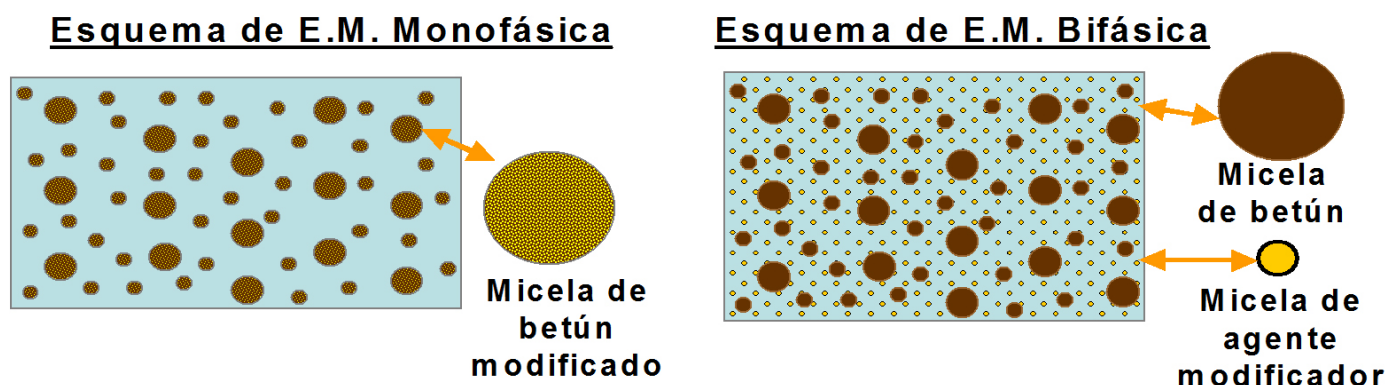


Figura 8: Representación de una distribución de emulsiones empleando betunes modificados con polímero (izq) o empleando látex (dcha)

La principal propiedad que confieren estos modificadores al betún es su comportamiento elástico que permite al betún residual admitir y recuperar grandes deformaciones si bien, es de destacar el aporte de cohesión al ligante que proporciona la modificación del betún.

EL AGUA

El agua es el segundo componente de la emulsión y forma la fase continua. En ella se encuentra disuelto el tensioactivo y el agente saponificador (ácido o base). Eventualmente se pueden añadir otros tipos de aditivos como mejoradores de viscosidad, adhesividad y polímeros (látex).

Es el medio de dispersión de las partículas de betún y el que permite la posibilidad de conseguir un sistema estable para las partículas de betún. Puede contener minerales (calcio, magnesio, etc) u otras sustancias que pueden afectar tanto a su emulsificación como a las propiedades de la emulsión.

EL TENSIOACTIVO

También conocido con el nombre de “emulsionante”, es el agente necesario para mantener la emulsión estable en el tiempo. Es un compuesto químico que permite modificar la tensión interfacial agua-betún. Se sitúa en la interfase de ambos evitando la unión de los glóbulos de betún y separando las dos fases de la emulsión.

Los tensioactivos se caracterizan por poseer dos partes diferenciadas en su molécula, una parte grasa,

lipófila o apolar con una gran afinidad por el betún y otra parte hidrófila o polar que presenta una gran afinidad por el agua. Esta doble característica le permite situarse en la interfase betún-agua con la parte lipófila integrada en el betún y la parte polar en el agua.

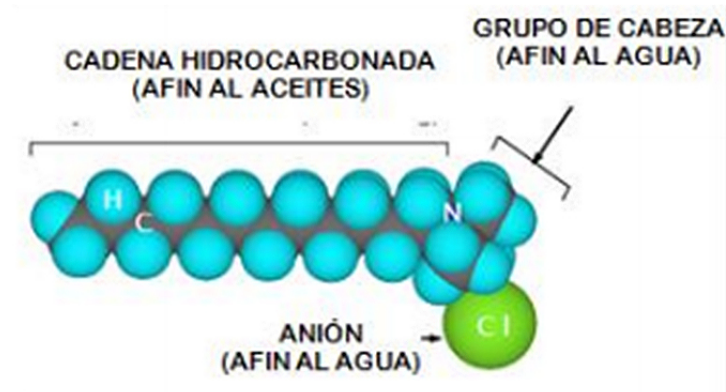


Figura 9: Representación del aspecto de una molécula de emulsionante

La parte polar del emulsionante en un medio acuoso proporciona una carga eléctrica en la superficie de las partículas de betún y que dependerá del tipo de tensioactivo utilizado y que se clasifican en:

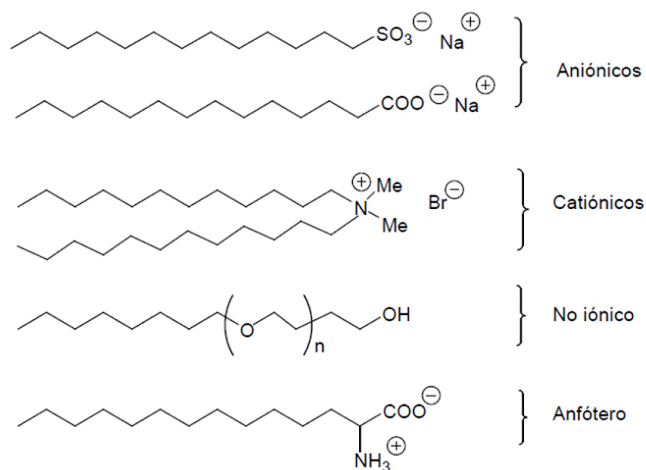


Figura 10: Representación de las estructuras de los diferentes tipos de tensioactivos

Tensioactivos Aniónicos: En solución se ionizan quedando el grupo hidrófobo cargado negativamente. Están constituidos por una cadena alquílica lineal o ramificada que va de 10 a 14 átomos de carbono, y en el extremo polar de la molécula se encuentra el anión que en un medio acuoso se ioniza.

Representantes de este grupo son derivados del ión sulfato o de sulfonatos; sales sódicas o potásicas de ácidos grasos (estearinas) o resínicos (tall-oil).

Las estearinas o ácidos grasos proceden de la hidrólisis de las grasas bien animales (sebos o aceites de pescado) o vegetales (aceite de palma, palmiste u orujos). Son moléculas con radicales ácidos y cadenas desde 12 hasta 22 átomos de carbono, ya sean saturadas como insaturadas.

Los ácidos resínicos provienen de la destilación de las resinas de la madera. Presentan mezclas de compuestos cíclicos con dobles enlaces y un grupo carboxílico. El principal componente es el ácido abiético.

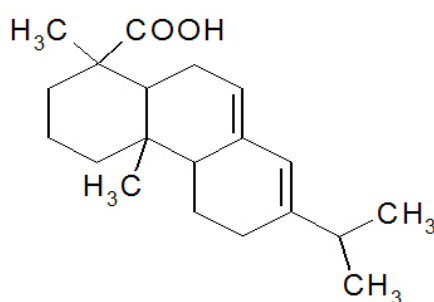


Figura 11: Representación del ácido abiético

Tensioactivos Catiónicos: Son aquellos que en solución forman iones, cargando positivamente el grupo hidrófobo de la molécula. Principalmente son diaminas y poliaminas grasas (en algunos casos también se utilizan imidazolinas o amido-aminas grasas) y sales de amonio cuaternario, salificadas en la inmensa mayoría de los casos con ácido clorhídrico.

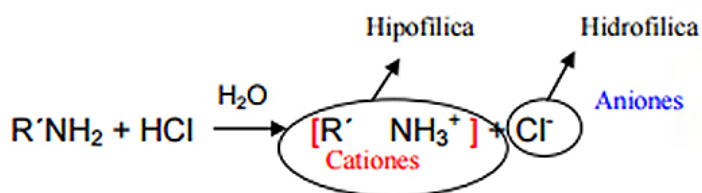


Figura 12: Representación esquemática de una molécula de emulsionante catiónico

Las diaminas y poliaminas grasas se sintetizan por la reacción de un ácido graso (normalmente de sebo vacuno) con amoníaco. Esta reacción da lugar a una amina primaria que posteriormente se condensa con

acrilonitrilo y posteriormente esta molécula es hidrogenada para obtener una diamina. Si este proceso se repite varias veces se obtienen las poliaminas.

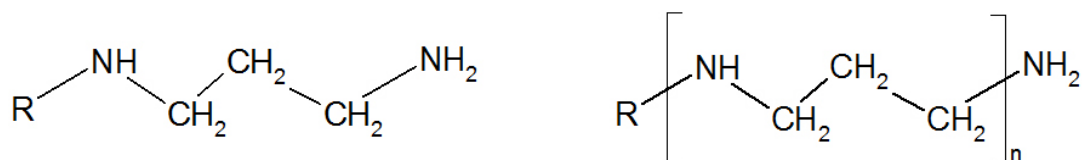


Figura 13: Representación de diamina (izq) y poliamina (dcha)

Las amido-aminas y las imidazolinas se obtienen por reacción de un ácido graso con poliaminas sintéticas de cadenas cortas como la dietilentriamina o trietilentetramina.

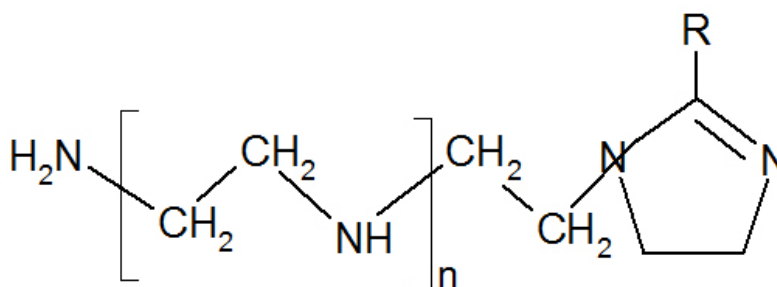


Figura 14: Representación de un compuesto de imidazolina

Las sales de amonio cuaternario se obtienen por reacción de una amina con un agente metilante (cloruro de metilo o sulfato de dimetilo)

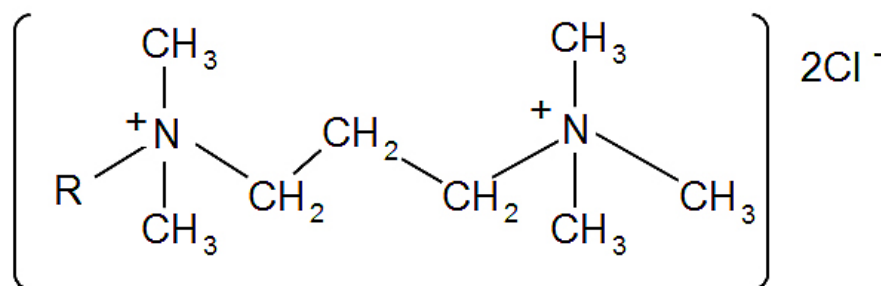


Figura 15: Representación de una sal de amonio cuaternario

En todos los casos, excepto en las sales de amonio cuaternario, los emulsionantes, como se indicó anteriormente, deben ser saponificados, los aniónicos con una base (sosa o potasa) y los catiónicos con un ácido (clorhídrico o fosfórico generalmente).

Es entonces después de la formación de su sal cuando el emulsionante se activa y puede efectuar su función. La parte lipófila (su cadena hidrocarbonada) se introduce en el seno del betún, mientras que su parte hidrófila (su grupo polar) se orienta hacia el exterior del betún, hacia el agua.

Tensioactivos Anfóteros ó Anfotéricos: Como su nombre indica, actúan dependiendo del medio en que se encuentren, en medio básico son aniónicos y en medio ácido son catiónicos.

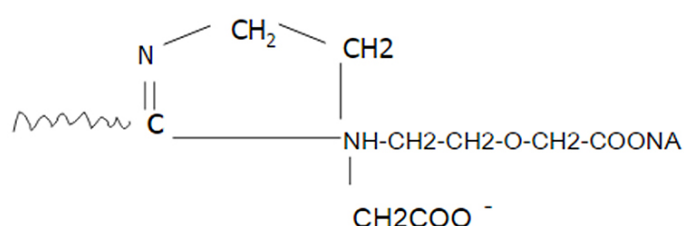


Figura 16: Representación de un compuesto anfótero

Generalmente la parte no polar está formada por un grupo alquilo y como parte polar un grupo carboxilato ($R-COO^-$), junto con un grupo amonio

Tensioactivos no-iónicos: compuestos que no contienen grupos funcionales disociables por lo tanto no se disocian en el agua en forma de iones.

Disponen de una parte no polar formada principalmente por una cadena alifática y como parte polar suele estar formada por grupos alcohol ó éter. Como representantes están los alcoholes grasos o fenoles a los que se les agregan una o varias moléculas de óxido de etileno; ejemplo de ellos el nonil fenol etoxilado o el nonanol etoxilado.

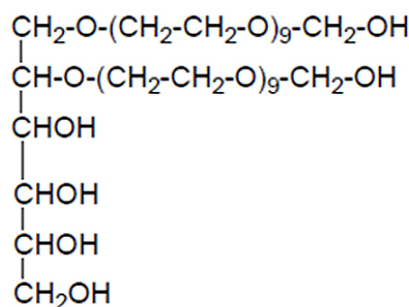


Figura 17: Representación de un tensioactivo no-iónico

De todos los tipos de tensioactivos, los más empleados son los tipo amina y su familia, para las emulsiones bituminosas catiónicas, y las resinas o los derivados de los iones sulfato para las emulsiones bituminosas aniónicas.

Cada uno de los diferentes tipos de tensioactivos dará lugar a la formación de emulsiones con la estructura que se observa en las figuras adjuntas.

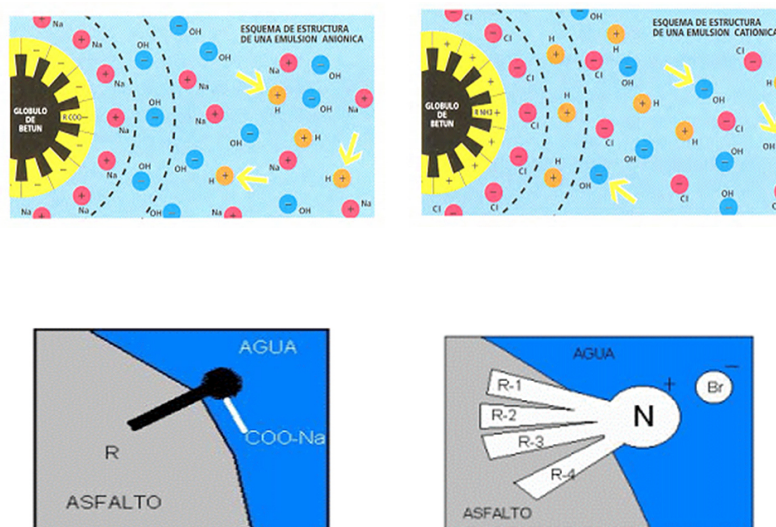


Figura 18: Representación de emulsiones bituminosas aniónicas y catiónicas

ADITIVOS

Con el objetivo de poder conseguir emulsiones bituminosas con unas características determinadas para un uso previsto, es posible la adición de una serie de aditivos complementarios a los ya indicados.

Lo más habitual es la adición de fluidificantes, incorporados al betón, y que aporta a la emulsión características determinadas en cuanto a viscosidad y manejabilidad. Además este compuesto en proporciones superiores al 3% es uno de los materiales que intervienen en la definición de la nomenclatura de una emulsión.

El fluidificante desaparece por evaporación mediante el curado y maduración de del riego o la mezcla con la emulsión.

4. FABRICACIÓN DE UNA EMULSIÓN BITUMINOSA

Las emulsiones bituminosas se fabrican en instalaciones que disponen de un equipamiento necesario para conseguir la dispersión adecuada del ligante en el agua a partir de un molino coloidal que aporta la energía necesaria y con la que se consigue la distribución del betún en pequeñas partículas del tamaño de micras.

El proceso de fabricación consiste principalmente en el mezclado de una fase acuosa, constituida por el emulsionante y aditivos y por otro lado de una fase ligante. Cada uno de los materiales se introduce en el molino y a través de un proceso de cizalla se consigue la dispersión del betún en forma de gotas.

El tipo de emulsionante empleado es el que determina si la emulsión es aniónica o catiónica.

La dosificación de cada uno de los componentes se realizará en función del empleo previsto y características deseables para cada una de las emulsiones.

Las instalaciones que actualmente existen tienen una capacidad de producción de 5.000 a 25.000 t/año. Están formadas por depósitos para las materias primas, intermedios de producción como el emulgente y productos acabados (las emulsiones), sistemas de calentamiento para el ligante y el emulgente y el equipo de fabricación correspondiente al molino coloidal. Además se dispone de tanques intermedios donde se prepara la fase acuosa previamente a su introducción en el molino a partir de dosificadores del tipo bomba de caudal regulable.

Un aspecto importante a tener en cuenta en la fabricación son las temperaturas de las dos fases que componen la emulsión.

La fase ligante, formada por un betún con o sin fluidificante, según el tipo de emulsión, debe calentarse a la temperatura necesaria para alcanzar la viscosidad mínima que permita su bombeo y cizallamiento en el molino.

Por otro lado la fase acuosa generalmente debe calentarse para la correcta preparación del emulgente si bien, hasta una temperatura tal que no provoque un choque térmico excesivo al entrar en contacto con la fase ligante a la entrada en el molino. Es conveniente que la suma de las dos temperaturas no sobrepase los 200 °C, para evitar la ebullición del agua, ya que la presencia de vapor de agua en el molino podría ocasionar cavitaciones en el mismo y roturas parciales de la emulsión.

Con los betunes más empleados habitualmente estas premisas nos llevan a trabajar a una temperatura de entre 120 y 150°C para la fase betún, y entre 30 y 60°C para la fase acuosa. Las emulsiones fabricadas con betunes muy duros o betunes modificados requieren aumentar la temperatura de la fase betún hasta 180-190 °C y hasta 70-80 °C la de la fase acuosa. Cuando esto ocurre es necesario que todo el sistema de fabricación esté bajo presión, generalmente de unos 2-3 Kg/cm², y disponer de un sistema de

enfriamiento rápido mediante un intercambiador de calor a la salida del molino que evite la evaporación del agua de la emulsión.

En general, los tensioactivos y los aditivos se incorporan en la fase acuosa. No obstante, también existen aditivos que se incorporan a la fase betún e incluso sistemas de fabricación donde el emulgente se incorpora al betún. Cuando se utilizan fluidificantes o fluxantes, lo habitual es incorporarlos a la fase betún.

Para almacenar emulsiones lo más adecuado es emplear tanques verticales en donde la entrada de la emulsión se realiza por la parte superior con la tubería hasta el fondo del tanque. De esta manera se evita la formación de espumas y se minimiza los fenómenos que se pueden producir durante el almacenamiento, como son el de la formación de natas o sedimentaciones.

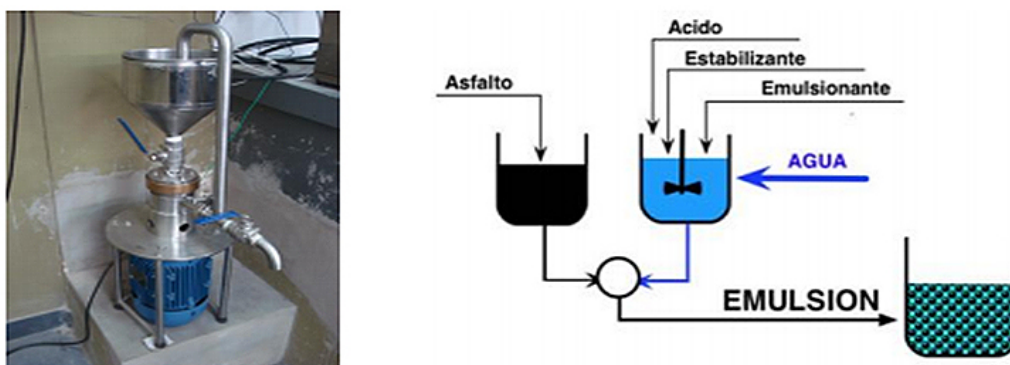


Figura 19: Esquema de una planta de fabricación de emulsiones de laboratorio

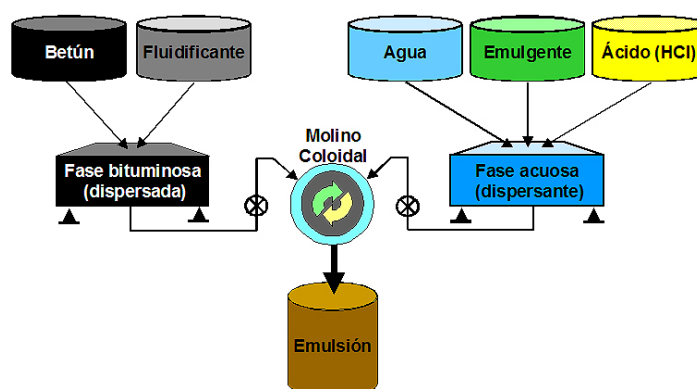


Figura 20: Esquema de una planta de fabricación de emulsiones catiónicas a nivel industrial

En el momento actual el 95% de las emulsiones fabricadas en España son de tipo catiónico y únicamente el 5 % de tipo aniónico.

5. LAS EMULSIONES BITUMINOSAS Y EL PROCESO DE EMULSIFICACIÓN

Una emulsión bituminosa, como se ha indicado, es un sistema termodinámicamente inestable donde las partículas de betún, que forman la fase dispersa, se encuentran distribuidas en la fase acuosa. Por su naturaleza ambas tienden a unirse hasta llegar a su separación final llegando al estado denominado como coalescencia.

Para conseguir que este sistema sea estable durante el tiempo necesario hasta su empleo final, es fundamental conocer su estructura y los factores que influyen en su estabilidad.

Uno de los elementos fundamentales para conseguir esta estabilidad es el emulsionante que atendiendo a su característica estructura, formada por una parte hidrófila y otra lipófila, permite su absorción en las dos fases totalmente incompatibles en su estado natural.

Para comprender mejor cómo funciona un emulsionante es importante conocer sus características, para ello lo primero es conocer cómo se define.

En la [RAE](#) se dispone de las siguientes definiciones para los dos términos que se pueden utilizar indistintamente, “tensioactivo” y “emulsionante”.

Así la definición de tensioactivo es la siguiente: “Compuesto que reduce la tensión superficial del líquido al que se añade”

Por otro lado la definición que se encuentra en la [RAE](#) para emulsionante es: “Sustancia que permite obtener una emulsión o estabilizarla”.

Revisando la evolución en la historia de estos compuestos, se observa que existen referencias que datan del año 3000 A.C. en el que se tiene constancia del empleo de jabones que, además de ser el tensioactivo de uso más extendido en el mundo, es uno de los compuestos químicos más antiguos. Estos jabones se utilizaban para el lavado del algodón así como antiséptico para combatir enfermedades de la piel.

El interés por los jabones creció en los siglos VI y VIII pero fue sobre todo durante el siglo XIX con la industrialización donde se consiguió su fabricación a escala industrial.

En 1917 dos investigadores norteamericanos, Harkins y Langmuir, descubrían una clase de sustancias sintéticas equiparables a los jabones y con un comportamiento especial en su estructura molecular al estar formada por un grupo polar con afinidad por el agua, y por otro grupo apolar con afinidad a las grasas.

A estas sustancias se les dio el nombre de agentes de superficie (en inglés “Surface active agents”) que derivó en “surfactant”, de donde procede el anglicismo surfactante y que más tarde derivó en el nombre conocido como “tensioactivo” referido a su actividad o acción sobre la tensión superficial, según se describe en su definición.

El desarrollo de la industria química ha permitido el diseño de diferentes tipos de emulsionantes que en función de su naturaleza, lo que posibilita su empleo en un amplio abanico de aplicaciones.

El agente emulsionante participa en la formación de una emulsión actuando de tres formas:

- **Reducción de la tensión interfacial** y con ello conseguir su estabilización termodinámica
- **Formación** de una película rígida interfacial que actúa como una barrera frente al fenómeno de coalescencia
- **Formación** de una doble capa eléctrica

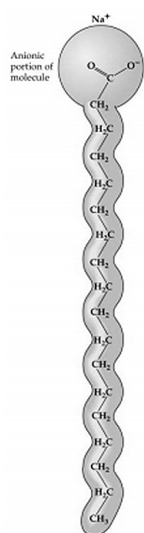
Una de las características principales de un tensioactivo es que posea propiedades equilibradas entre su parte hidrófila y lipófila, que se traduce en disponer de una longitud de cadena hidrofóbica de ocho o más átomos de carbono, y que presente una polaridad mínima la cual dependerá de las características del grupo o grupos polares presentes, es lo que se conoce como balance hidrófilo/lipófilo.

Según este balance, la fase en la que el emulgente sea más soluble constituirá la fase continua, aspecto que fue estudiado por el químico estadounidense (Bancroft) en 1913 y recogido en lo que se conoce como la regla de Bancroft, donde define que la formación de una emulsión no depende de los porcentajes relativos de cada uno de los materiales sino de cuál de las fases que forman la emulsión tiene más afinidad por el emulgente.

Como continuación a los trabajos de Bancroft, en 1949 Griffin propuso una explicación semicuantitativa de esta regla analizando los tensioactivos y definiendo una escala continua de solubilidad denominada escala HLB (escala de balance hidrófilo, lipófilo).

El estudio se basa en un método experimental que consiste en atribuir a los agentes emulsionantes, un cierto número HLB, que representa varios parámetros, y da cuenta del balance hidrófilo-lipófilo del sistema.

El valor HLB corresponde al máximo de estabilidad de una emulsión y se asigna una escala para clasificar los tensioactivos entre lipófilos, con valores bajos (1-9) e hidrofílicos con valores de HLB altos (10-18)



HLB	USO
1 - 3.5	antiespumantes
4- 6	emulsiones W/O
7 - 9	agentes humectantes
8 - 18	emulsiones O/W
13 - 15	detergentes
15 - 40	solubilizantes

Figura 21: Representación del aspecto de una molécula de tensioactivo (izq) y clasificación de los tensioactivos según la regla de Bancroft

Las emulsiones bituminosas corresponden a emulsiones tipo aceite en agua por lo que el balance HLB estaría comprendido en el rango de 8-18.

Otro de los aspectos en donde los emulsionantes ejercen un papel muy importante en una emulsión es su capacidad para reducir la tensión interfacial entre dos líquidos inmiscibles y para comprender su mecanismo hay que tener en cuenta las características que presentan los materiales.

En su estado normal un líquido, para mantener la estructura entre sus moléculas, presenta diferentes tipos de interacciones como son las fuerzas de Van der Waals, interacciones electrostáticas, impedimentos estéricos, etc. Estas fuerzas son intrínsecas del material y son de diferente magnitud dependiendo de la zona del líquido considerada.

En el interior del líquido, las fuerzas de atracción son muy fuertes al estar las moléculas lo suficientemente cerca.

Por otro lado las moléculas que se encuentran en la superficie no están rodeadas completamente por otras moléculas del líquido, lo que provoca un efecto neto hacia el seno del líquido de fuerzas de contracción, que serán más bajas cuanto menor sea la superficie. Por ello la tendencia natural de reducir la superficie externa al mínimo posible es en forma de esfera, figura geométrica que presenta la menor superficie con relación a su volumen. Así se explica la forma de las gotas de agua sobre cualquier superficie.

Este efecto que se conoce como tensión superficial y se define como “La fuerza perpendicular a la superficie del líquido dirigida hacia el seno de éste” permite que la superficie sea estable.

Entre los líquidos, el agua es la sustancia que posee una mayor tensión superficial debido a la gran fuerza de cohesión que proporcionan los enlaces por puentes de hidrógeno.

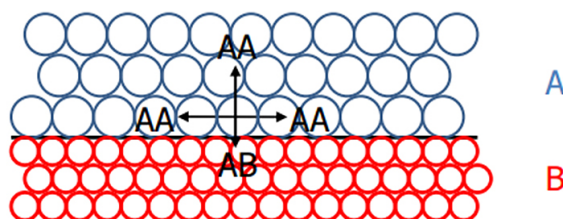


Figura 22: Representación de las fuerzas de las moléculas entre dos líquidos

Cuando se ponen en contacto dos líquidos inmiscibles, las moléculas están sometidas a fuerzas de magnitudes diferentes a las que existen en el seno de cada uno de los líquidos, efecto que se conoce como tensión interfacial.

En este caso las moléculas en la interfase de los líquidos están sometidas a las mismas fuerzas atractivas que aparecerían al estudiar la tensión superficial, pero además existen otras fuerzas externas de las moléculas de la interfase entre los dos líquidos.

Para conseguir que finalmente sea posible la formación de una emulsión, es necesario que la tensión interfacial se reduzca por la presencia de los tensioactivos.

Estos compuestos con una tensión superficial menor que la del agua y el betún, al colocarse en la interfase, y por su estructura lipófila-hidrófila, forma un puente entre las dos fases disminuyendo de manera muy importante la tensión interfacial entre ambas, reduciendo en gran manera la energía interna y por lo tanto facilitando la emulsionabilidad y con ello formando una barrera que evita la coalescencia de los glóbulos de betún.

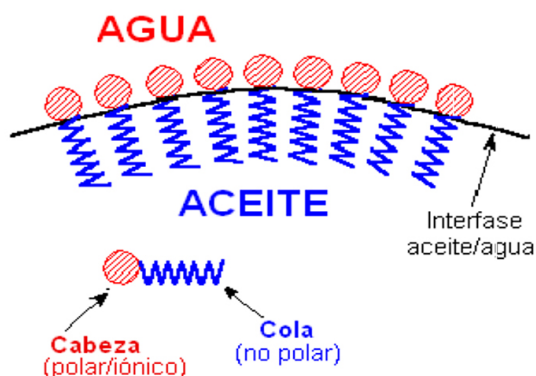


Figura 23: Representación de la tensión interfacial entre dos líquidos

6. LAS EMULSIONES BITUMINOSAS Y SU ESTABILIDAD

Las emulsiones al formar un sistema termodinámicamente inestable, por su propia naturaleza, tienden a reducir su estabilidad debido a una serie de procesos que ocurren a escala microscópica, y que se describen en lo que se conoce como la teoría DLVO (Derjaguin, Landau, Verwey y Overbeek).

Esta teoría define que la estabilidad entre los glóbulos de betún es debida principalmente a las interacciones de largo alcance que hay entre las gotas al estar sometidas a movimientos Brownianos, lo que provoca que puedan chocar unas con otras, de manera que la estabilidad de la emulsión dependerá de cómo interaccionen entre sí cuando se encuentren.

Entre las interacciones, actúan las fuerzas de atracción de Van der Waals que se generan al aproximarse dos glóbulos, y que matemáticamente se representan por la ecuación:

$$V_A = - \frac{Ar}{12d}$$

Siendo d la distancia entre los glóbulos, r su radio y A una constante.

Estas fuerzas de atracción están contrarrestadas por las fuerzas de repulsión electrostática que el emulsionante proporciona a los glóbulos en donde la fuerza de repulsión depende básicamente de la distancia entre los glóbulos.

Por lo tanto la energía entre glóbulos vendrá dada por la fórmula:

$$V = V_A + V_R$$

Como las interacciones de atracción o repulsión dependen de la distancia entre las gotas, se pueden representar de una manera gráfica las intensidades de ambos potenciales de la siguiente forma:

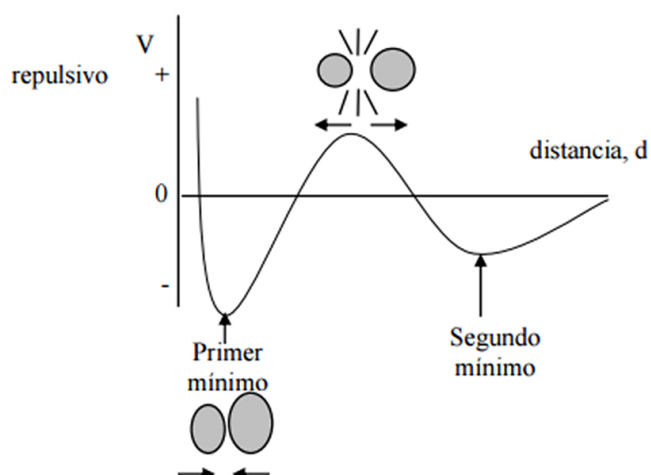


Figura 24: Representación gráfica de las interacciones de los potenciales de atracción y repulsión en función de la distancia entre dos partículas

Cuando la distancia entre los glóbulos de betún es muy pequeña, situación encontrada en el primer mínimo, las fuerzas de atracción predominarían y tendría lugar el efecto de coalescencia inestabilizando el sistema y con ello la separación de las dos fases.

Por otro lado cuando la distancia es superior al segundo mínimo, el sistema crecería en energía actuando las fuerzas de atracción, en donde se aproximarían las partículas, apareciendo el fenómeno de floculación o cremado que terminará en un estado de coalescencia a medida que sea mayor el número de partículas adheridas.

En el caso del máximo, donde existe una separación intermedia, tiene lugar un equilibrio entre las fuerzas de atracción y repulsión creando una barrera energética que anularía la unión de las partículas consiguiendo de esta forma estabilidad en el sistema.

El emulsionante situado en la interfase actúa dentro del sistema betún-agua, al aumentar la repulsión electrostática dificultando la floculación y la coalescencia de los glóbulos.

Expuestos los mecanismos y las fuerzas presentes entre las partículas de una emulsión que dan lugar a un sistema estable, existe un proceso que revierte esta situación haciendo que la emulsión pierda su estabilidad llegando a la rotura total y con ello la separación de las dos fases betún y agua.

Este proceso de rotura de la emulsión puede ocurrir directamente después de un periodo de almacenamiento prolongado, o bien se puede provocar al entrar en contacto la emulsión con otro material, en este caso un árido, finalidad para la que son diseñadas.

La pérdida de estabilidad llegando a la separación de las fases agua-betún que pueden existir en una emulsión después de un periodo prolongado de almacenamiento, es un proceso lento que puede presentar diferentes etapas y que viene regida por la ley de Stokes

$$v = \frac{2a^2(\rho - \rho_0)g}{9\eta}$$

En donde “a” es el radio del glóbulo, ρ y ρ_0 las densidades del betún y del agua, “ η ” es la viscosidad de la emulsión.

La primera etapa de este proceso correspondería a lo que se define como cremado o sedimentación, que es el fenómeno en el que la emulsión se separa en dos zonas, una más concentrada y otra más diluida sin que ocurra ninguna agregación de los glóbulos.

Como cremado se conoce al aumento de concentración de betún en la parte superior de la emulsión, mientras que la sedimentación es el aumento de concentración de betún en la parte inferior.

Una etapa posterior se produce cuando los glóbulos se aproximan, debido al aumento de concentración por sedimentación o cremado, formando un sistema donde la posibilidad de contacto es mucho mayor. Bien sea debido al empaquetamiento o al rozamiento entre los glóbulos, algunas moléculas del emulsionante se eliminan de la superficie generando zonas sin protección. En esos puntos se aumenta la agregación de los glóbulos formando lo que se denomina floculación. La continuidad de este fenómeno provoca la coalescencia. Estos fenómenos a diferencia del cremado o sedimentación son ya procesos irreversibles.

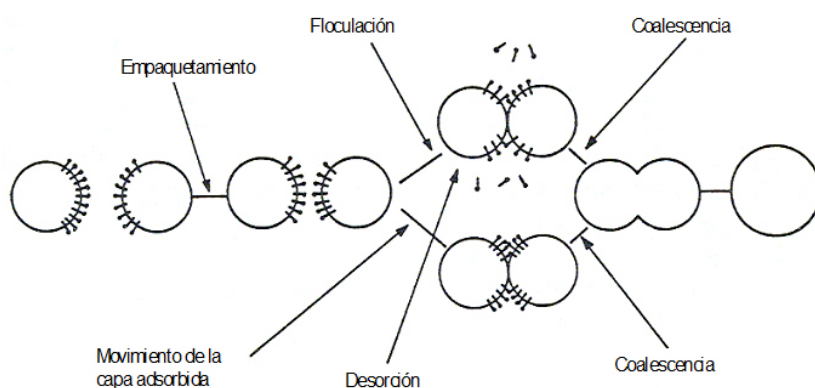


Figura 25: Representación gráfica de las diferentes etapas del proceso de separación de las fases betún-agua

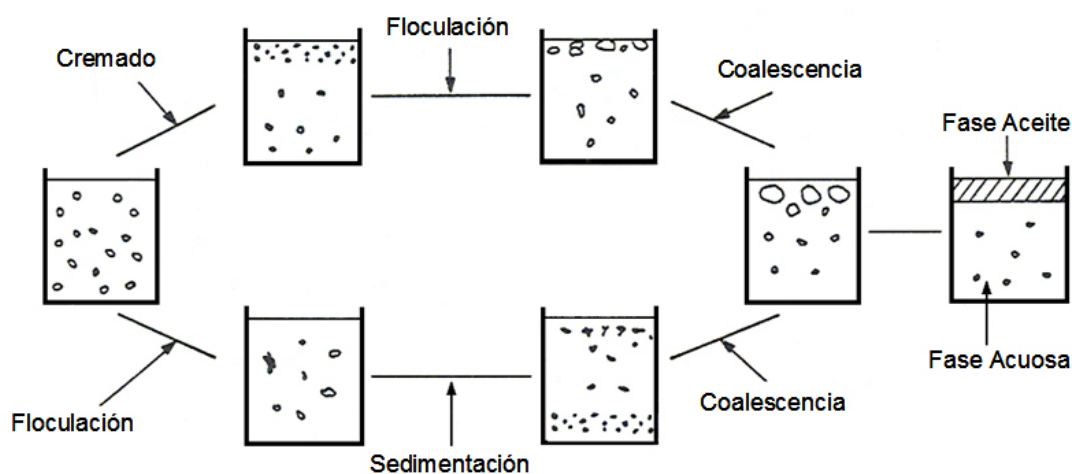


Figura 26: Representación gráfica de las diferentes etapas del proceso de separación de las fases betún-agua

Tras las primeras coalescencias, los fenómenos; que han originado el cremado o sedimentación y posteriormente la coalescencia de los glóbulos, se aceleran dando lugar a la rotura total, separación de las fases, de la emulsión. Cabe destacar que debido a la alta viscosidad del betún, los fenómenos de coalescencia se producen de forma extremadamente lenta.

Estos fenómenos descritos hasta ahora se refieren a la estabilidad y rotura de la emulsión “per se” sin intervención de agentes externos. A continuación veremos la influencia del emulsionante cuando las emulsiones bituminosas se enfrentan a un agente externo, los áridos.

Las emulsiones bituminosas se clasifican según el grado de estabilidad en emulsiones más rápidas o más lentas en función de la velocidad de la rotura (separación del betún y el agua) frente a los áridos.

En este caso la carga eléctrica que el emulsionante proporciona a los glóbulos de betún, que servía de barrera repulsiva entre ellos, origina una atracción eléctrica con la superficie del árido provocando la rotura de la emulsión y el depósito del betún sobre el mismo.

La naturaleza y concentración del emulsionante en la emulsión tiene de nuevo una gran influencia en este proceso.

Si el emulsionante proporciona una carga fuerte y concentrada al glóbulo, la atracción con el árido, que nunca está completamente seco y por lo tanto en su superficie presenta también cargas eléctricas, será muy fuerte y rápida.

Por el contrario un glóbulo con una carga proporcionada por el emulsionante débil o dispersa, será atraído mucho más lentamente por el árido.

Este mecanismo que permite diferenciar las emulsiones en función de la velocidad de rotura, más rápida o más lenta, también diferencia los emulsionantes en más rápidos (tipo diaminas) o más lentos (tipo poliaminas) para conseguir la rotura final de la emulsión. En este mecanismo no solamente interviene la naturaleza del emulsionante sino también su concentración.

Como ya se ha estudiado, los glóbulos de betún de la emulsión necesitan una cierta cantidad de emulsionante para recubrir su superficie, el resto del emulsionante presente se encuentra disuelto en la fase continua, el agua.

Este emulsionante libre disuelto en el agua también será atraído por la superficie del árido y competirá con el que recubre al glóbulo, retardando su aproximación al árido. Este fenómeno será mayor cuanto más concentración de emulsionante haya y más exceso del mismo en el agua. Así una emulsión de rotura rápida se convertirá en rotura media si se aumenta el contenido de emulsionante.

Esta atracción química posee una segunda y no menos importante función, crear un enlace estable entre las moléculas minerales de la superficie del árido y el emulsionante que recubre el glóbulo, y finalmente con el betún. Esta unión química, difícil de destruir, entre betún y árido se conoce con el nombre de adhesividad y es otra gran ventaja del uso de las emulsiones bituminosas.

PROPIEDADES DE LA EMULSIÓN

Una vez descritos los mecanismos de emulsificación, estabilidad y rotura, se describen a continuación las características que se exigen a las emulsiones bituminosas para su empleo en carreteras.

6.1 VISCOSIDAD

Característica fundamental en la aplicación de la emulsión que se adaptará al tipo de empleo de la misma. Para emulsiones destinadas a tratamientos superficiales donde se requiere la máxima cubrición del árido, una viscosidad alta permitirá crear una mayor película alrededor del árido proporcionando una mejor sujeción del mismo y reduciendo el escurrimiento del ligante. Por el contrario para emulsiones empleadas en la fabricación de una mezcla, una baja viscosidad permitirá una mejor dispersión de la emulsión en la mezcla de áridos.

El factor que influye de manera más directa en la viscosidad es la concentración de la fase dispersada, esto es, el porcentaje de ligante de la emulsión. Además existen otros factores como pueden ser: la viscosidad de la fase dispersante (que se ve incrementada por la incorporación de sales minerales, la Concentración Micelar Crítica, etc.) y la distribución del tamaño de los glóbulos, que a su vez depende en gran medida de la naturaleza del betún, y de la presencia de fluidificantes, así como de los medios mecánicos y condiciones utilizadas en la fabricación.

Una emulsión con un tamaño de partícula pequeño y con una distribución granulométrica estrecha y uniforme, tendrá una alta viscosidad. Los emulsionantes con un gran poder de emulsificación, aquellos capaces de reducir fuertemente la tensión interfacial, producen emulsiones con tamaños de partícula menores. También tiene una gran influencia la estructura de la parte apolar del emulsionante. Actualmente existen emulsionantes capaces por si solos de aumentar notablemente la viscosidad de una emulsión sin cambiar el tamaño de los glóbulos.

6.2 VELOCIDAD DE ROTURA

Anteriormente se explicó brevemente el mecanismo químico de la rotura de la emulsión frente a un árido. Veamos ahora de manera muy simplificada el proceso completo que se produce a partir del contacto de una emulsión con el árido.

En primer lugar se produce una absorción parcial del agua y emulsionante libre en la emulsión por el árido, lo que origina una mayor concentración de glóbulos en las proximidades del árido y una desestabilización de la emulsión. Este proceso da como resultado la floculación y la aproximación de los glóbulos de betún a la superficie del árido.

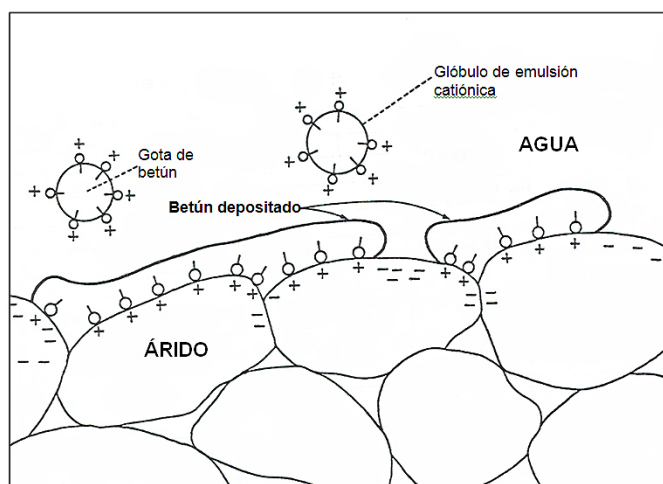


Figura 27: Representación gráfica del proceso de rotura de la emulsión en contacto con el árido

A continuación comienza la coalescencia produciéndose la formación de coágulos de betún, lo que entraña ya la separación irreversible de las fases. Al final del proceso de coalescencia se produce la rotura de la emulsión en sentido estricto. Las dos fases, betún y agua, se separan completamente.

Paralelamente también se produce un aumento del pH de la emulsión por la neutralización del emulsionante, lo que contribuye a la desestabilización de la misma.

Dependiendo de la naturaleza del árido este cambio de pH es más o menos rápido.

A partir de este momento comienza la pérdida de agua del sistema.

Esta pérdida de agua produce un incremento rápido de la cohesión y se traduce visualmente en el paso de un color marrón oscuro, típico de la emulsión, a un color negro, típico del betún.

Posteriormente se produce la pérdida de los fluidificantes añadidos al betún, si los hubiera, proceso que se denomina curado, y, en para el caso del empleo de las emulsiones en mezclas, se produce la eliminación del agua que permanece en los huecos de éstas, proceso que se denomina maduración.

Estos fenómenos de curado y maduración son de naturaleza física y dependen de las condiciones de temperatura y aireación, así como del espesor de la capa de mezcla y el contenido de huecos.

La velocidad de rotura de las emulsiones dependerá de su mayor o menor estabilidad frente a los áridos y que responde al criterio del tiempo de trabajabilidad más adecuado para los diferentes tipos de aplicaciones.

Así, en riegos se utilizarán emulsiones más rápidas, en mezclas abiertas emulsiones medias y en mezclas cerradas emulsiones más lentas.

Factores determinantes de la velocidad de rotura de la emulsión son tipo y dosis utilizada de emulsionante, el pH de la fase acuosa así como la presencia de un número mayor de partículas más finas de árido, en el caso de las mezclas.

6.3 ADHESIVIDAD

Se define como adhesividad a "La capacidad de un ligante para permanecer fijado a un árido recubriéndolo sin ningún riesgo de desplazamiento aún en presencia de agua o tráfico".

La adhesividad puede ser activa (capacidad de un ligante para mojar el árido durante su mezcla) o pasiva (resistencia del betún a ser desplazado de la superficie del árido por la acción del agua o el tráfico).

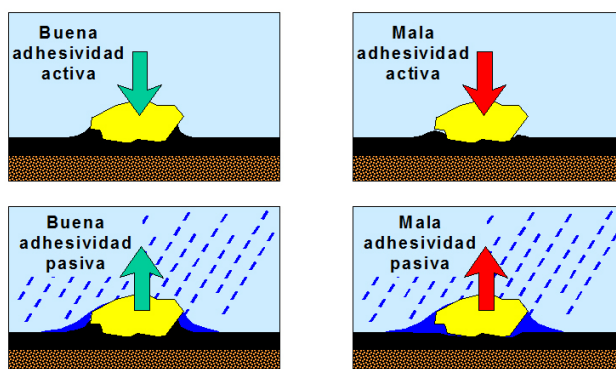


Figura 28: Representación gráfica de los diferentes tipos de adhesividad entre árido-ligante

Para las emulsiones catiónicas, cuyos glóbulos están cargados positivamente, cuando se enfrenta a una superficie mineral, juega un papel básico en la adhesividad el proceso de reacción química. La adhesividad activa con los áridos electronegativos (sílice, cuarzo, granito) está garantizada por la atracción de las cargas eléctricas, opuestas, del árido y de los glóbulos.

Sin embargo, la adhesividad activa de las emulsiones catiónicas también es buena con la mayor parte de los áridos electropositivos como las calizas.

En este caso, y presentando una explicación muy simple del fenómeno, se puede decir que se produce un ataque de los iones Cl^- a los iones Ca^{++} del árido, y en la superficie del mismo solo quedan iones carbonato, negativos, que atraen las cargas positivas del emulsionante catiónico (aminas) dando lugar a la formación de un carbonato de amina insoluble.

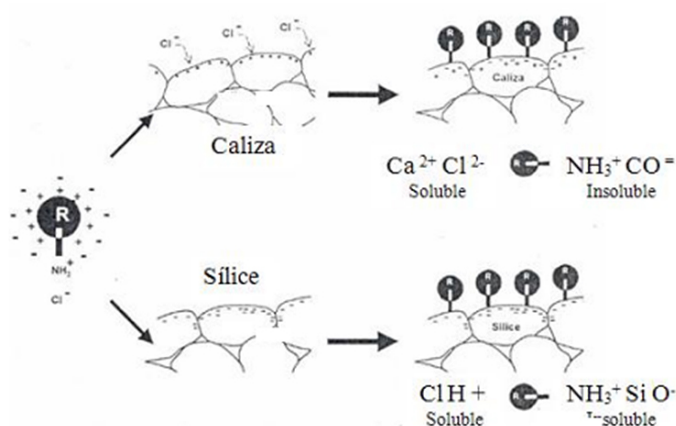


Figura 29: Adhesividad de una emulsión catiónica sobre diferentes tipos de áridos

En las emulsiones aniónicas, cargadas negativamente, el proceso de rotura no actúa tanto a partir de reacción química sino que su rotura es más lenta predominando el efecto de maduración. En este caso la adhesividad activa con áridos de naturaleza electropositiva (calizas, basaltos) está garantizada por la complementariedad de las cargas del árido y de los glóbulos de betún. Por contra, la adhesividad con los áridos electronegativos, cargas del mismo signo, prácticamente no existe.

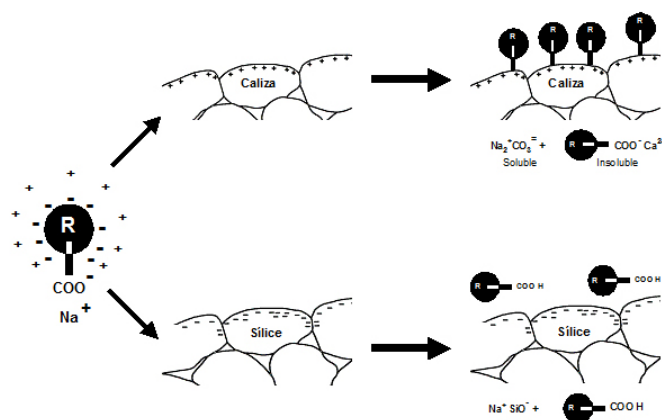


Figura 30: Adhesividad de una emulsión aniónica sobre diferentes tipos de áridos

Estos mecanismos de rotura-adhesividad permiten explicar el gran desarrollo de las emulsiones catiónicas frente a las aniónicas.

7. NORMATIVA

En España la primera normalización para emulsiones bituminosas data de 1975 y desde entonces, ha sido revisada en varias ocasiones, la última se realizó en 2013 para las emulsiones catiónicas recogidas en la norma armonizada UNE EN 13808, tras la entrada en vigor del Mercado CE en el año 2011.

Para las emulsiones aniónicas también se dispone de una norma española que recoge las especificaciones para este tipo de emulsiones no contempladas dentro del Mercado CE.

Según recoge el Reglamento de Productos de la Construcción 305/2011, el Mercado CE se trata de un sistema implantado en la Unión Europea, a partir del cual, se establece una serie de criterios en cuanto a características y requisitos mínimos que deben cumplir los productos de la construcción para su comercialización en cualquiera de los países de la UE.

Este proceso es de aplicación para todos aquellos productos para los que se disponga de una norma

armonizada, la cual es común para todos los países miembros. En esta norma se definen una serie de parámetros y características que deberán cumplir los productos correspondientes. De esta forma se establece un lenguaje común que implica la obligatoriedad de definir unos requisitos mínimos a todos aquellos productos de los que se disponga de una normativa específica, permitiendo su comercialización en cualquiera de los estados miembros de la UE.

Desde principios de los años noventa, a través de los comités CEN, la Comunidad Europea ha trabajado en la creación de unas normas de métodos de ensayo y especificaciones comunes para las emulsiones catiónicas. El resultado ha sido en una primera etapa en la publicación de la norma EN 13808 en Mayo de 2005 y una posterior revisión publicada en el año 2013.

En la publicación inicial de la norma se solicitaba una declaración de las propiedades de la emulsión, siendo modificada en la última revisión con un cambio orientando en una declaración enfocada en función de sus prestaciones.

En esta norma armonizada, se recogen las especificaciones para las emulsiones bituminosas catiónicas (convencionales y modificadas) así como los requerimientos para el Mercado CE de estos productos.

A partir de Enero de 2011 su aplicación es de obligado cumplimiento y por tanto no se pueden comercializar las emulsiones bituminosas catiónicas sin el correspondiente Mercado CE.

Cada uno de los estados miembros, a partir de las especificaciones descritas en la norma EN 13808, debe proceder a revisar su normativa y adaptar las especificaciones de las emulsiones bituminosas a los requisitos de la norma de Mercado CE.

Junto con esta norma armonizada que describe las características de las emulsiones bituminosas, se han desarrollado igualmente una serie de normas de métodos de ensayo EN que sustituyen a las normas NLT, anteriormente empleadas en España.

Adicionalmente, para las emulsiones aniónicas que en España se continúan fabricando y para las cuales no se dispone de una norma armonizada que requiera el Mercado CE, al existir un vacío reglamentario, por iniciativa de ATEB y en colaboración con AENOR, se ha elaborado una norma española que recoge las especificaciones para los diferentes tipos de emulsiones aniónicas que se fabrican y comercializan habitualmente.

Esta información se ha recopilado con la publicación de la norma UNE 51603. En la misma se han definido las características de las emulsiones adoptando los mismos métodos de ensayo que los empleados para las emulsiones catiónicas.

7.1.- LAS EMULSIONES CATIÓNICAS: NORMA EN 13808

Esta norma describe los requisitos de las características para las diferentes emulsiones bituminosas catiónicas que se emplean en la pavimentación y que permite la unificación de criterios, para su comercialización en cualquier país de la Unión Europea. Entre los puntos a destacar de esta norma se encuentran los siguientes:

Nueva nomenclatura

Se ha definido una nomenclatura común para todos los países miembros. Dicha nomenclatura está formada por una serie de términos que incluye la siguiente información; el contenido de ligante, el tipo de ligante utilizado así como los aditivos adicionados y finalmente un término que identifica la estabilidad de la emulsión frente a la rotura con los áridos.

Letra	Denominación	Norma europea en que se basa	
Abreviaturas de términos obligatorias			
C	Inicial de emulsión catiónica	EN 1430	(polaridad de las partículas)
Número de dos dígitos	Contenido nominal de ligante en % (m/m) o Contenido residual de ligante en % (m/m)	EN 1428 o EN 1431 o EN 1431	(Contenido en agua o por ligante residual + fluidificante destilado) (ligante residual de la destilación del agua y el fluidificante)
B	Indicación del tipo de ligante	EN 12591	(Especificación del grado de betún para pavimentación)
P	Grado de betún	EN 14023 o polímero que puede añadirse antes, durante o después de la emulsificación	
F	Adición de polímeros		
	Adición de más del 3% (m/m) basado en emulsión de fluidificante	El tipo de fluidificante puede indicarse (de forma opcional) reemplazando la letra F o bien por Fm (fluidificante mineral) o Fv (fluidificante vegetal)	
2 a 10	Clase del comportamiento a rotura	EN 13808 (Tabla 2)	
Términos abreviados voluntarios			
	Designación abreviada del ligante bituminosos de base	EN 12591 o EN 14023 o EN 13924	(Designación de acuerdo con las prescripciones de la especificación relevante del producto)

Tabla 1: Identificación de las emulsiones catiónicas según la norma UNE EN 13808

Adicionalmente y con el objetivo de poder diferenciar el uso previsto de la emulsión, dentro de la adaptación a la normativa nacional, a esta nomenclatura se le asocia una serie de iniciales que indican el uso previsto de la emulsión.

Según esto se incluiría, junto con la denominación reglamentaria, la siguiente identificación adicional:

IMP: Para una emulsión de imprimación

ADH: Para una emulsión de adherencia

CUR: Para una emulsión de curado

TER: Para una emulsión termoadherente

REC: Para una emulsión utilizada con el empleo de material reciclado

GE: Para una emulsión empleada en grava emulsión

MBC: Para una emulsión empleada en mezclas cerradas

MBA: Emulsión empleada en mezclas abiertas

MIC: Emulsión empleada para microaglomerados en frío

TRG: Emulsión empleada para tratamientos superficiales con gravilla

Así por ejemplo una emulsión tipo ECI, según la antigua denominación, empleada como imprimación y con un contenido de fluidificante superior al 3%, presentará la siguiente nomenclatura:

C50BF4 IMP

Clases prestacionales

Para definir las características de las emulsiones en la norma EN 13808 se especifican una serie de requisitos técnicos, para lo cual existe una clasificación en forma de clases, (tabla 2). De esta tabla se seleccionará la clase más adecuada según la característica de la emulsión y el uso previsto así como de los requisitos normativos solicitados

En las tablas 3 y 4 se recogen los requisitos sobre la caracterización del residuo obtenido destacando algunos ensayos específicos para las emulsiones modificadas.

Dentro de todas las características, existen una serie de propiedades que son mandatadas y que deben ser declaradas, para cada una de las emulsiones, y que se recogen en el Certificado de Conformidad del Marcado CE. También existen otras para las que no sería obligatoria su determinación. No obstante el fabricante tiene la posibilidad de incluir todos aquellos requisitos técnicos de su producto dentro de la Declaración de Prestaciones.

Para una emulsión se podrá seleccionar una clase diferente para cada requisito técnico dentro de las recogidas en las tablas 2, 3 y 4.

Marcado CE

El Marcado CE corresponde a la Evaluación de Conformidad del Control de Producción en Fábrica de un producto para su comercialización dentro de la Unión Europea. No se trata de un criterio de calidad sino de control de producción.

El Marcado CE es responsabilidad del fabricante quien deberá realizar una serie de actuaciones que corresponden a:

- **Definición y documentación** de las características de la emulsión, para cada uno de los requisitos técnicos solicitados, que se conoce como Ensayo de Tipo. Esta información corresponderá a la caracterización técnica del producto
- **Un control de producción** en fábrica programado y documentado que permitirá un seguimiento de las características definidas en el Ensayo de Tipo

Finalmente todas las operaciones realizadas por el fabricante serán evaluadas por un Organismo Notificado que dará finalmente la conformidad del producto y con ello el Marcado CE.

Esta evaluación se realiza en varias partes:

- **Una primera etapa de inspección** de la información del Ensayo de Tipo de cada uno de los productos así como del sistema de control establecido para comprobar el cumplimiento de los requisitos técnicos
- **Una segunda etapa que corresponde a un seguimiento** de la producción del producto con la comprobación que se están ejecutando todas las operaciones según el programa establecido

Tras estas operaciones el Organismo Notificado procederá a la emisión del certificado de conformidad.

Tabla 2: Estructura de las especificaciones para las emulsiones bituminosas catiónicas según la norma EN 13808:2013

Requisitos técnicos	Und.	EN	Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8	Clase 9	Clase 10	Clase 11	Clase 12
Contenido en ligante o Ligante Residual después de destilación c	% (m/m) % (m/m)	1428 ó 1431	-	-	< 38 < 38 (C35)	38 a 42 ≥ 38 (C40)	48 a 52 ≥ 48 (C50)	53 a 57 ≥ 53 (C55)	58 a 62 ≥ 58 (C60)	63 a 67 ≥ 63 (C65)	65 a 69 ≥ 65 (C67)	67 a 71 ≥ 67 (C69)	≥ 69 69 (C70)	≥ 71 71 (C72)	
Comportamiento a rotura															
Índice de ruptura (filler Forshammer)	-	13075-1			< 110	70 a 155	110 a 195	>170	-	-	-	-			
Estabilidad por mezcla con cemento	g	12848			-	-	-	-	-	-	-	>2	≤2		
Tiempo de mezcla con finos	s	13075-2	NPD	TBR	-	-	-	-	>90	≥180	≥300	-			
Residuo de tamizado tamiz 0,5 mm	%(m/m)	1429			≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 0,5	-	-	-	-	-			

Viscosidad														
Tiempo de fluencia 2 mm a 40 °C	s	12846-1	NR		≤ 20	15 a 70	40 a 130	-	-	-	-	-	-	-
Tiempo de fluencia 4 mm a 40 °C	s	12846-1	NR		-	-	-	5 a 70	40 a 100	-	-	-	-	-
Tiempo de fluencia 4 mm a 50 °C	s	12846-1	NR		-	-	-	-	-	5 a 30	≥ 25	-	-	-
Viscosidad dinámica a 40 °C	mPa.s	13302	NR		DV	-	-	-	-	-	-	≤ 30	20 a 300	100 a 1000
Adhesividad con el árido de referencia	Ninguna	13614	NR		≥ 75	≥ 90	-	-	-	-	-	-	-	-
Poder de penetración	Min	12849	NR	DV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Contenido de fluidificante por destilación	%(m/m)	1431	NR		≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 5,0	≤ 8,0	≤ 10,0	5-15	> 15	-	-	-
Residuo por tamizado-tamiz 0,16 mm	%(m/m)	1429	NR		≤ 0,25	≤ 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Tiempo de fluencia a 85 °C	s	NR		25 a 45	20 a 100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estabilidad al almacenamiento por tamizado (almacenamiento durante 7 días) tamiz 0,5 mm	%(m/m)	1429	NPD		≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 0,5	-	-	-	-	-	-	-
Tendencia a la sedimentación (7 días a almacenamiento)	%(m/m)	12847	NPD		≤ 5	≤ 10	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 3: Estructura de las especificaciones para los requisitos técnicos y clases prestacionales de los ligantes residuales, recuperados, estabilizados y envejecidos de las emulsiones catiónicas según la norma EN 13808:2013

Requisitos técnicos	Und.	EN	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8	Clase 9	Clase 10	Clase 11
Consistencia a temperatura de servicio intermedia													
Penetración a 25 °C	0,1 mm	EN 1426	DV	≤ 50	≤ 100	≤ 150	≤ 220	≤ 270	≤ 330				
Penetración a 15 °C	0,1 mm	EN 1426	DV	-	-	-	-	-	-	90 a 170	140 a 260	180 a 360	
Consistencia a temperatura de servicio alta													
Punto de reblandecimiento	°C	EN 1427	DV	≥ 60	≥ 55	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 39	≥ 35	< 35		
Viscosidad dinámica a 60 °C	Pa.s	EN 12596 o EN 13302	DV	≥ 18	≥ 12	≥ 7	≥ 4,5	< 4,5	-				
Viscosidad cinemática a 60 °C	mm²/s	EN 12595	DV	≥ 16000	≥ 8000	≥ 6000	≥ 4000	≥ 2000	< 2000				
Cohesión (solamente ligantes modificados)													
Energía de cohesión por ensayo de tracción (100 mm/min)	J/cm²	EN 13587 EN 13703	DV	≥ 3 a 5°C	≥ 2 a 5°C	≥ 1 a 5°C	≥ 2 a 10°C	≥ 1 a 10°C	≥ 0,5 a 10°C	≥ 1 a 15°C	≥ 0,5 a 15°C	≥ 0,5 a 20°C	≥ 0,5 a 25°C
Energía de cohesión por fuerza ductilidad (tracción a 50 mm/min)	J/cm²	EN 13589 EN 13703	DV	≥ 3 a 5°C	≥ 2 a 5°C	≥ 1 a 5°C	≥ 0,5 a 5°C	≥ 2 a 10°C	≥ 1 a 10°C	≥ 0,5 a 10°C	≥ 0,5 a 15°C	≥ 0,5 a 20°C	
Cohesión por el ensayo del péndulo	J/cm²	EN 13588	DV	≥ 1,4	≥ 1,2	≥ 1,0	≥ 0,7	≥ 0,5	-				
Fragilidad a temperatura de servicio baja (temperatura de fragilidad Fraass)	°C	EN 12593	DV	≤ -25	≤ -20	≤ -15	≤ -10	≤ -5	≤ 0	≤ 5			
Recuperación elástica a 10 °C (para ligantes poliméricos elásticos)	%	EN 13398	DV	≥ 75	≥ 50				-	-			
Recuperación elástica a 25 °C (para ligantes poliméricos elásticos)	%	EN 13398	DV	-	-	≥ 75	≥ 50						

Tabla 4: Estructura de las especificaciones para las emulsiones bituminosas catiónicas, propiedades de los ligantes residuales, recuperados, estabilizados y envejecidos según la norma EN 13808:2013

Requisitos técnicos	Ligante residual por destilación	Ligante recuperado	Durabilidad-Estabilizado	Etapa 1 Ligante	Durabilidad-Etapa 2 Ligante Envejecido
	Ligante obtenido después de la extracción del agua y del fluidificante destilado de acuerdo con EN 1431	Ligante por evaporación siguiendo la Norma EN 13074-1	Ligante por evaporación (EN 13074-1) y sometido a estabilización (EN 13074-2)		Ligante por evaporación (EN 13074-1) y sometido a estabilización (EN 13074-2) y envejecido (EN 14769)
Consistencia a temperatura de servicio intermedia	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 4	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3		NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3
Consistencia a temperatura de servicio alta	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 4	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3		NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3
Cohesión (solamente ligantes modificados)	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 4	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3		NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3
Fragilidad a temperatura de servicio baja (temperatura de fragilidad Fraass)	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 4	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3		NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3
Recuperación elástica a 10 °C (ligantes con polímeros elastoméricos)	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 4	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3		NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3
Recuperación elástica a 25°C (para ligantes con polímeros elastoméricos)	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 4	3	NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3		NR (Clase 0) o clases prestacionales recogidas en la tabla 3

Tras ser comprobado por el Organismo Notificado el cumplimiento de todos los requisitos definidos en la norma de emulsiones bituminosas EN 13808, el fabricante procederá a la emisión de la etiqueta de Marcado CE como muestra de la homologación de los productos. En esta etiqueta se describen las clases para cada una de las características esenciales requeridas por la reglamentación correspondiente.

 01234	
Cualquier Cía S.A. 13 00001-CPR-2013/05/12	
EN 13808:2013 <i>Emulsiones bituminosas catiónicas</i> <i>"Marca comercial" – C69 BP2</i> Destinado a ser usado en tratamientos superficiales de carreteras EMULSION – Viscosidad – tiempo de flujo 4 mm -40 °C – EN12846-1 5 s a 70s (Clase 5) – Efecto del agua en la adhesión del ligante – EN 13614 - Árido de referencia ≥ 75 (Clase 2) – Comportamiento a la rotura – EN 13075-1 < 110 (Clase 2) LIGANTE RECUPERADO – Consistencia a temperatura de servicio intermedia - EN 1426 ≤ (150 × 0.1) mm Clase 4) – Consistencia a temperatura de servicio elevada - EN 1427 ≥ 43 °C (Clase 6) – Cohesión NPD ETAPA 1 DURABILIDAD – LIGANTE ESTABILIZADO – Consistencia a temperatura de servicio intermedia - EN 1426 ≤ (100 × 0.1) mm Clase 3) – Consistencia a temperatura de servicio elevada - EN 1427 ≥ 46 °C (Clase 5) – Cohesión - EN 13588 ≥ 1,2 J/cm ² (Clase 3) ETAPA 2 DURABILIDAD – LIGANTE ENVEJECIDO – Consistencia a temperatura de servicio intermedia - EN 1426 ≥ (35 × 0.1) mm (DV-Clase 1) – Consistencia a temperatura de servicio elevada - EN 1427 ≤ 60 °C (DV-Clase 1) – Cohesión NPD Sustancias peligrosas NPD	

Figura 31: Modelo de etiqueta de Marcado CE de emulsiones bituminosas según lo descrito en la norma UNE EN 13808

Adaptación de los requisitos legales a la nueva normativa

El Mercado CE requiere la adaptación de los requisitos legales en cada uno de los países miembros, por ello ha sido necesaria la definición de las especificaciones solicitadas para las diferentes emulsiones empleadas en España.

Las actividades que se han llevado a cabo han consistido en:

- **La emisión de un anejo nacional** de la norma UNE EN 13808 en el cual se han definido las características solicitadas para los diferentes tipos de emulsiones según su uso previsto.
- **La revisión de los artículos 213 y 216** que dan lugar al 214 del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares PG-3.

7.2 EMULSIONES ANIÓNICAS

Las emulsiones aniónicas en la actualidad no están cubiertas por el Mercado CE al no disponer de una norma armonizada. No obstante, existe constancia de su empleo en España. Por ello, y con el objetivo de definir unas especificaciones para asegurar su correcto uso y aplicación, se ha elaborado una norma española, UNE 51603, en la que se ha procedido a definir una nomenclatura tomando como referencia la recogida para las emulsiones catiónicas.

Tabla 5: Identificación de las emulsiones aniónicas según la norma UNE 51603

Letra	Denominación	Norma europea en que se basa	
Abreviaturas de términos obligatorias			
A	Inicial de emulsión catiónica	EN 1430	(polaridad de las partículas)
Número de dos dígitos	Contenido nominal de ligante en % (m/m) o Contenido residual de ligante en % (m/m)	EN 1428 ó EN 1431 o EN 1431	(Contenido en agua o por ligante residual + fluidificante destilado) (ligante residual de la destilación del agua y el fluidificante)
B	Indicación del tipo de ligante	EN 12591	(Especificación del grado de betún para pavimentación)
P	Grado de betún	EN 14023 o polímero que puede añadirse antes, durante o después de la emulsificación	
F	Adición de polímeros		
	Adición de más del 3% (m/m) basado en emulsión de fluidificante		
R	Rápida		
M	Media		
L	Lenta		

Así por ejemplo una emulsión tipo EAI, según la antigua denominación, empleada como imprimación y con un contenido de fluidificante superior al 3%, presentará la siguiente nomenclatura: **A50BF4L**.

Por otro lado se han definido para las emulsiones más comunes, unas especificaciones para cada una de las características como se puede observar en la *tabla 6*.

Tabla 6: Especificaciones para las emulsiones aniónicas según la norma UNE 51603

Características	Unidad	Norma UNE EN	A50BR		A50BFR		A60BR		A65BR		A67BFM		A67BPFM		A60BFL		A60BL		A50BFL	
			Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
EMULSIÓN ORIGINAL																				
Polaridad de las partículas		1430																		
Contenido de ligante	% (m/m)	1428	48	52	48	52	58	62	63	67	65	69	65	69	58	62	58	62	48	52
Fluidificante por destilación	% (m/m)	1431		3	3	5		3		3	3	10	3	10	3	8		3	5	15
Tiempo de fluencia 2 mm a 40 °C	s	12846-1	15	70	15	70	40 ₍₃₎	130							15	70	40	130	15	70
Tiempo de fluencia 4 mm a 40 °C	s	12846-1							5	70	5	70	5	70			5	70		
Tamizado por 0,5 mm	%	1429	<0,10		<0,10		<0,10		<0,10		<0,10		<0,10		<0,10		<0,10		<0,10	
Estabilidad por mezcla con cemento	%	12848															<2			
Sedimentación a los 7 días	%	12847		10		10		5		5		5		5		10		10		10
RESIDUO OBTENIDO POR DESTILACIÓN (EN 1431)																				
Penetración (25 °C, 100 g, 5s)	0,1 mm	1426		220 10 0 ₍₁₎		220 100 ₍₁₎		220 10 0 ₍₁₎		220 10 0 ₍₁₎		270		220		220 10 0 ₍₁₎	220 0 ₍₂₎	220 100 ₍₁₎ 330 ₍₂₎	220	330
Punto de reblandecimiento	°C	1427		35 39 ₍₁₎		35 39 ₍₁₎	35 39 ₍₁₎		35 39 ₍₁₎		35		39		35 39 ₍₁₎		35 39 ₍₁₎		35 39 ₍₁₎	
Recuperación elástica	%	13398											40							

(1) Estas emulsiones con residuos de destilación más duros, se designan como el tipo correspondiente seguido de la letra "d"

(2) Estas emulsiones, para su empleo en reciclado de materiales bituminosos y/o granulares, se designan como el tipo correspondiente, seguido de la letra "b"

(3) Estas emulsiones, pueden fabricarse con viscosidades inferiores (15-70 segundos), en función de sus condiciones de empleo

7.3 MÉTODOS DE ENSAYO

Los métodos de ensayo empleados en la caracterización de las emulsiones, permiten comprobar sus propiedades.

Hasta la aparición del Marcado CE, la metodología empleada se basaba en normas NLT (Normas del Laboratorio de Transportes) las cuales han sido sustituidas por normas EN con las que se ha homogenizado la forma de proceder de todos los países de la UE para el análisis de las emulsiones bituminosas.

Entre los métodos de ensayo y las propiedades que más han variado para las propiedades de las emulsiones son los siguientes:

Viscosidad (UNE EN 12846-1). Sigue siendo una propiedad importante a determinar. El método Saybolt Furol utilizado hasta 2011 cambia siendo denominado como tiempo de fluencia y cuya metodología consiste en comprobar el tiempo que emplea una emulsión en caer sobre una probeta de unas dimensiones normalizadas. Se especifican varios tipos de orificios por el que ha de pasar la emulsión así como temperaturas para la ejecución del ensayo que se aplicarán en función de la viscosidad de la emulsión.

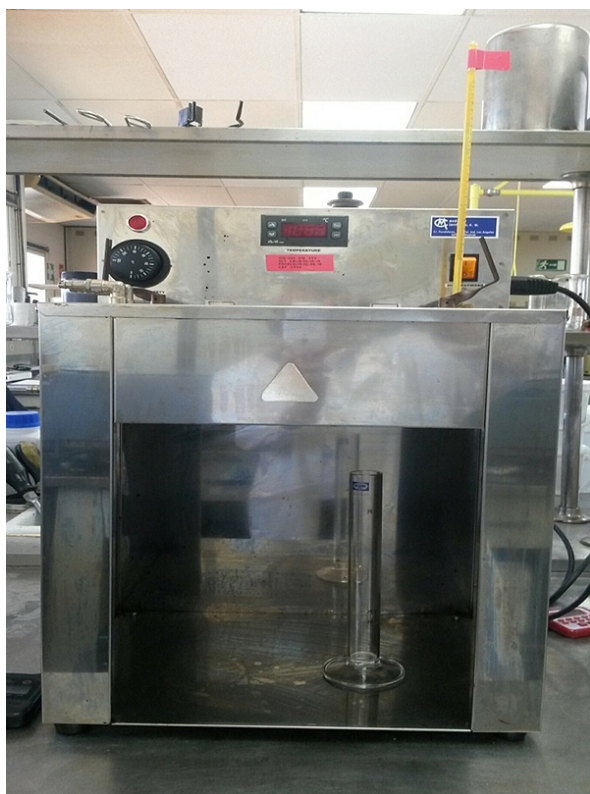


Figura 32: Viscosímetro de flujo

Contenido de ligante (UNE EN 1428 o UNE EN 1431). Se puede determinar a partir de dos métodos, bien calculando el volumen de agua en una emulsión mediante una destilación azeotrópica (método EN

1428) o bien mediante una destilación para la extracción del fluidificante así como el residuo de ligante para su posterior caracterización.



Figura 33: Montaje equipo de destilación para determinación del contenido de ligante por la norma UNE EN 1431

Sedimentación (UNE EN 12847). Permite estimar la tendencia a la sedimentación de una emulsión mediante la diferencia de concentraciones entre la parte superior e inferior de una probeta después de un período de reposo determinado aunque en especificaciones se establece un tiempo de 7 días.

Tamizado (UNE EN 1429). Determina la calidad de la fabricación de la emulsión por la ausencia de partículas entre 500 y 160 μm en lugar de las 800 μm de la anterior normativa NLT.



Figura 34: Tamices empleados para el ensayo de tamizado de emulsiones bituminosas

Índice de rotura (UNE EN 13075-1). Determina la cantidad de un polvo mineral de referencia necesario para provocar la rotura completa de 100 g de emulsión. Este método con la aparición del Mercado CE ha sido normalizado y los datos obtenidos del mismo se han incluido dentro de la identificación de la emulsión.



Figura 35: Ensayo de índice de rotura



Figura 36: Equipo de índice de rotura

Adhesividad con un árido de referencia (UNE EN 13614). Es un ensayo con el que se determina la adhesividad de una emulsión con un árido de referencia, analizando la cubrición de éste cuando se sumerge en agua. Verifica la velocidad de rotura y la adhesividad activa y pasiva en presencia de agua.

Propiedades del ligante residual: Con la nueva normativa se han definido varios métodos para la obtención del residuo y su posterior caracterización. Dichos métodos son los siguientes:

- **Residuo por destilación** obtenido después de la extracción del agua y del fluidificante a una temperatura de 260 °C, según lo descrito en la norma UNE EN 1431

- **Residuo por evaporación** obtenido después del acondicionamiento de una cantidad determinada de emulsión a 50 °C durante 24 horas en estufa ventilada según lo descrito en la norma UNE EN 13074-1

- **Residuo por estabilización** corresponde a la etapa siguiente al método de residuo por evaporación donde el residuo obtenido se acondiciona durante 24 horas a 85 °C en estufa ventilada según lo descrito en la norma UNE EN 13074-2

- **Residuo envejecido** corresponde a la etapa final a la que puede ser sometido el residuo después de las etapas de evaporación y estabilización. En este caso el ligante residual es sometido durante 65 horas a 85 °C, a unas condiciones de presión determinadas (2,1 MPa) para estudiar el comportamiento en unas condiciones extremas



Figura 37: Equipo empleado para el envejecimiento del residuo de emulsiones bituminosas

Posteriormente el ligante residual es analizado mediante los métodos de ensayo de consistencia habituales de penetración y punto de reblandecimiento incluyendo además otros como los de cohesión (para las emulsiones modificadas), que permite un mayor conocimiento del comportamiento de la emulsión con el paso del tiempo.

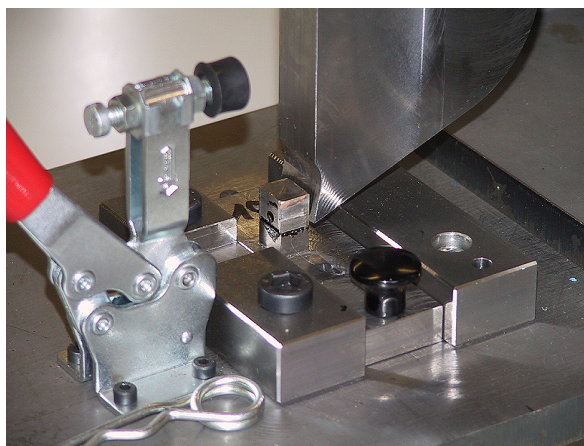


Figura 38: Equipo para determinar la cohesión del ligante residual de emulsiones bituminosas modificadas

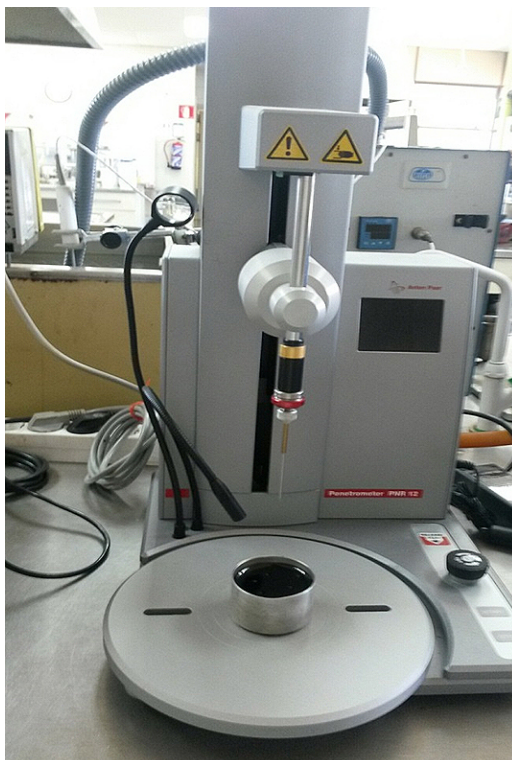


Figura 39: Equipo de penetración para la medida de la consistencia del residuo de emulsiones bituminosas



ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS

www.ateb.es | gerencia@ateb.es