NUEVOS CAMPOS DE APLICACIÓN DE EMULSIONES BITUMINOSAS

EMULSIONES PARA USO FERROVIARIO

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS (ATEB)

www.ateb.es

1ª Edición octubre de 2017

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

Nuria Uguet Canal Coordinadora GT 6 ATEB: Nuevas aplicaciones de emulsiones bituminosas (Eurovia España)

Jose Manuel Berenguer Prieto (Eiffage Infraestructuras)

María del Mar Lázaro Blázquez (CIESM-Intevia)

Rafael Moreno López (Corvisa)

Emilio Moreno Martínez (Repsol)

Vicente Pérez Mena (Cepsa Comercial Petróleo)

Teresa Real Herráiz (Universidad Politécnica de Valencia)

Antonio Rodero Serrano (Universidad de Belmez)

COMITÉ TÉCNICO

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

Lucía Miranda Pérez . Secretariado Comité Técnico ATEB (Repsol)

Daniel Andaluz García (ATEB)

Rafael Guillén Carmona (Sacyr Construcción)

Santiago Gil Redondo (Campi y Jove)

Francisco José Lucas Ochoa (Repsol)

Nuria Uguet Canal (Eurovia España)

Con la **colaboración especial** del Dr. Ing. Angel Sampedro Rodríguez

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Vía Clásica

1.2 Vía en Placa

2. ESTADO DEL ARTE EN EL EMPLEO DE MEZCLAS BITUMINOSAS PARA USO FERROVIARIO

2.1 Subbalasto Bituminoso

2.2 Vía en Placa

2.2.1 Sistema GETRAC
2.2.2 Sistema ATD
2.2.3 Sistema BITUTRAN

3. EMPLEO DE EMULSIONES BITUMINOSAS

3.1 Emulsiones a aplicar sobre la capa de forma

3.2 Emulsiones para adherencia entre capas de subbalasto bituminoso y en vía en placa

3.3 Emulsiones para riegos de curado sobre capas tratadas con conglomerante hidraúlico

3.4 Emulsiones para tratamientos superficiales de riegos con gravilla

3.5 Emulsiones para la fabricación de mezcla bituminosa en frío y templada como subbalasto bituminoso

4. LÁMINA ASFÁLTICA ADICIONAL IN-SITU

ÍNDICE

5. MAQUINARIA

5.1 Emulsión para riegos y lámina asfáltica adicional in-situ

5.2 Tratamientos superficiales de riego con gravilla

5.2.1 Gravilladora
5.2.2 Compactación

5.3 Ligante en mezclas bituminosas en frío como subbalasto bituminoso

5.3.1 Planta de fabricación de mezcla bituminosa
5.3.2 Transporte a obra y extensión de la mezcla
5.3.3 Compactación

5.4 Ligante en mezclas bituminosas templadas como subbalasto bituminoso

6. BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

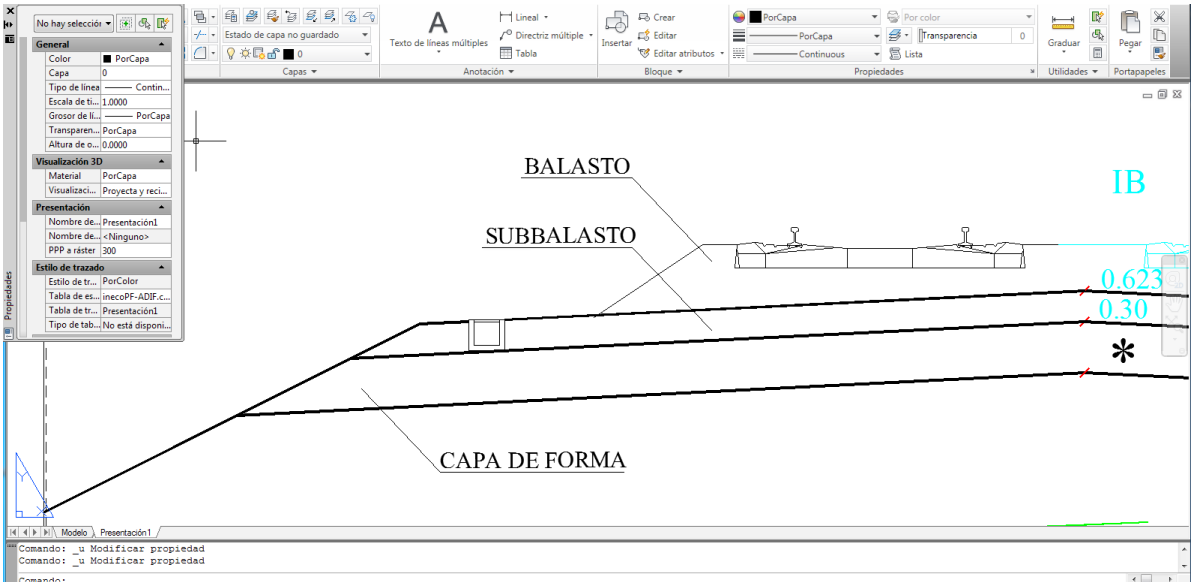
Actualmente, el ferrocarril se ha convertido en uno de los medios de transporte más usado y promocionado por la mayoría de los países de todo el mundo, debido a su gran capacidad de transporte, seguridad, ahorro energético y, consecuentemente, menor impacto sobre el medio ambiente.

Es también un medio económico que, con la incorporación de la alta velocidad ha pasado a competir con cualquier medio de transporte, incluido el avión.

A lo largo de la vida del ferrocarril se han desarrollado diversas concepciones de vía:

1.1 VÍA CLÁSICA

La vía clásica consiste en el emparrillado traviesa-carril sobre balasto, apoyados sobre una capa de subbalasto granular, que es la capa de la infraestructura ferroviaria situada sobre la superficie de la capa de forma (equivalente a la explanada en carreteras) y que sirve de base a la capa de balasto, como se muestra en la siguiente figura:



La función del balasto es dar estabilidad a la vía, permitir el drenaje hacia las capas inferiores y distribuir las presiones que transmite la vía al terreno, haciendo que sean admisibles para el subbalasto.

El subbalasto tiene como función evitar daños a la plataforma por erosión, drenar el agua de lluvia,

mejorar el reparto de las cargas y mantener el balasto fuera del alcance de elementos extraños.

Todos estos elementos se encargan de distribuir las cargas de los trenes hacia la plataforma, disminuyendo las tensiones a medida que se transmiten elemento a elemento.

1.2 VÍA EN PLACA

La vía en placa consiste en disponer la vía sobre una losa de hormigón en vez de sobre balasto. Respecto a la vía clásica, tiene las siguientes ventajas:

- **Soporta** mayores cargas por eje.
- **Disminuye** la presión transmitida a la plataforma.
- Tiene **menor coste** de mantenimiento.

y los siguientes inconvenientes:

- **Mayor coste** de construcción.
- **Mantenimiento** de la plataforma más complejo.

2. ESTADO DEL ARTE EN EL EMPLEO DE MEZCLAS BITUMINOSAS PARA USO FERROVIARIO

Las mezclas bituminosas se han empleado con éxito en el ámbito ferroviario en un gran número de países dadas sus ventajas, como son la mayor atenuación de vibraciones y la optimización de espesores de capas.

Su utilización conlleva la aplicación de emulsiones bituminosas para imprimación en algunos casos y para adherencia en otros.

2.1. SUBBALASTO BITUMINOSO

Una de las aplicaciones más extendidas es el empleo de subbalasto bituminoso en sustitución del subbalasto granular.

A día de hoy, en España, se están realizando pruebas con dos tipos de materiales para la formación de este subbalasto de mejores prestaciones: suelocemento y mezclas bituminosas en caliente, siendo este último el más utilizado en los países de nuestro entorno.

En Japón, país de la alta velocidad ferroviaria por excelencia, se coloca una capa delgada de mezcla bituminosa sobre lo que sería una capa de subbalasto granular. En Italia, se coloca directamente, como capa de subbalasto, una capa de mezcla bituminosa en caliente. Los italianos vienen aplicando esta técnica de forma habitual desde los años setenta.

Este último modelo es el que ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) está considerando para su implantación en las nuevas líneas de alta velocidad españolas, habiendo construido ya varios tramos experimentales, que se encuentran en servicio.

También hay muchas experiencias de aplicaciones de subbalasto bituminoso en Gran Bretaña y en Francia. En este último, se ha construido un tramo experimental en la Línea París – Estrasburgo, donde se ha empleado un espesor de 14 cm de gravaemulsión que ha supuesto un ahorro de 5.000 metros cúbicos de material granular tipo zahorra artificial por kilómetro de línea.

En EE.UU. también hay experiencias de aplicación de mezclas bituminosas para capas de subbalasto. Se emplean en líneas ferroviarias, tanto de alta velocidad como de tráfico de mercancías, especialmente en zonas sobre terrenos blandos.

Otra aplicación que se ha realizado en las líneas ferroviarias de este país ha sido el empleo de geomembranas bituminosas para el refuerzo de la plataforma ante su paso por suelos también blandos. En estos casos, se ha realizado una estabilización in situ con cal del terreno natural y, por encima, se ha colocado este tipo de geomalla.

Como se ha comentado anteriormente, las funciones principales de esta capa son proteger la parte superior de la plataforma contra la erosión y las heladas, evacuar las aguas pluviales, mejorar el reparto de cargas sobre la plataforma y evitar la contaminación de balasto por finos de la plataforma. Por lo tanto, una mezcla bituminosa dimensionada adecuadamente puede garantizar estas funciones.

Las características que debe cumplir una capa bituminosa para subbalasto son establecidas por el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) en el Pliego de Prescripciones Técnicas Tipo para los Proyectos de Plataforma (PGP 2011). En dicho pliego se establecen los siguientes tipos de mezcla bituminosa a emplear como subbalasto bituminoso:

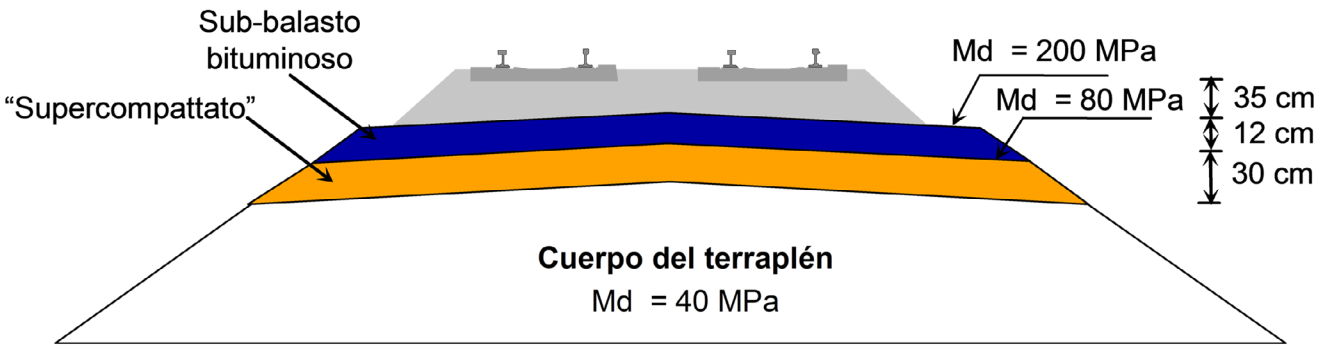
- **AC 22 50/70 S** (12 cm).
- **AC 32 50/70 S** (12 cm).

Por parte de ADIF, en este momento, se está estudiando la implantación del **subbalasto bituminoso**, basándose en el modelo de ITALFERR para vías de alta velocidad en Italia.

Ya se han construido algunos tramos de forma experimental: uno en Cataluña y otros dos en Castilla y León, debidamente instrumentados para poder analizar su comportamiento en servicio.

El subbalasto bituminoso que se está aplicando tiene un espesor de 12-14 cm de mezcla bituminosa semidensa del tipo **AC22 S**, extendida en una o dos capas.

En alguno de los tramos ya construidos también se han colocado mezclas densas, del tipo **AC22 D**.



En paralelo, ADIF ha encargado al CEDEX la instrumentación y seguimiento de estos tramos experimentales y, lo que es más importante y novedoso, la realización de un estudio y modelización del comportamiento del subbalasto bituminoso mediante la realización de ensayos acelerados a escala real en instalaciones del CEDEX, en el llamado Cajón, del Laboratorio de Geotecnia.

Se han caracterizado las curvas de fatiga del balasto para 1,5 Millones de ejes con simulaciones del paso de trenes a 300 y 360 km/h mediante la adquisición de datos de sensores externos (tres equipos de rayos láser), la modelización en 3-D del comportamiento estático y dinámico del cajón, y la instrumentación de partículas de balasto con acelerómetros 2-D y 3-D.

Este ensayo a escala real, contrastado con los datos que se están obteniendo en los tramos ejecutados, es el más avanzado tecnológicamente, a día de hoy, a nivel mundial.

De esta forma, podrá evaluarse el comportamiento de todos los elementos de la vía, tanto por debajo como por encima de la capa de subbalasto, ante el paso de circulaciones ferroviarias de alta velocidad, cuya particularidad reside en las grandes cargas que se transmiten y, de forma especial, en el carácter dinámico de dichas cargas.

Además, en la Escuela Politécnica de la Universidad Alfonso X el Sabio (UAX) se han desarrollado trabajos de investigación, plasmados en varias tesis doctorales, que han analizado las ventajas observadas a partir de los resultados de estos ensayos.

Las ventajas del subbalasto bituminoso son las siguientes:

- **Mejora de la capacidad estructural de la plataforma**, lo que se traduciría en un mejor comportamiento de todas las partes y elementos de la infraestructura.

- **Mayor durabilidad de la plataforma** ante las deformaciones verticales producidas por las cargas.

- **Mejores condiciones de drenaje**, pues la mezcla bituminosa protege de la entrada de agua a los rellenos y fondos de desmonte.

- **Mejor comportamiento de la infraestructura frente a las acciones del clima**, pues está mejor protegida.

- **Mayor estabilidad del balasto y vía**, lo que reduciría enormemente las operaciones y gastos de conservación.

- **Reducción del ruido y vibraciones** por el paso de los trenes al entorno.

- **Mejores condiciones de construcción**, pues, como ya se ha dicho, la coronación de la plataforma con subbalasto bituminoso presentaría muchas ventajas desde el punto de vista de organización y calidad en las obras ferroviarias.

Si se emplean mezclas bituminosas como subbalasto, se requiere disponer un riego de imprimación sobre la base granular (con la tipología de emulsiones bituminosas que posteriomente se describirá en el apartado 3.1) previamente a la extensión de las capas bituminosas. Posteriormente, entre capas de mezcla bituminosa, será necesario realizar los correspondientes riegos de adherencia (con las la tipología de emulsiones bituminosas que posteriormente se describirá igualmente en el apartado 3.2).

2.2. VÍA EN PLACA

Otra de las aplicaciones habituales de las mezclas bituminosas en el ferrocarril es como capa constituyente de una vía en placa.

Este modelo se ha desarrollado en Alemania, donde gran parte de la red ferroviaria se construye mediante vía en placa, con el objeto de reducir costes y operaciones de mantenimiento.

En EE.UU. también hay experiencias de aplicación de mezclas bituminosas para capas de vía en placa en túneles y pasos superiores, en los que se pretende amortiguar las vibraciones que puede llegar a transmitir el paso de los trenes.

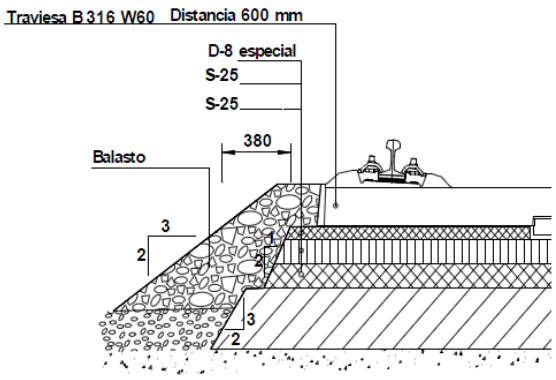
En general, las vías en placa constituidas por mezclas bituminosas ofrecen las mismas ventajas que cualquier tipología de vía en placa convencional, como pueden ser el mantenimiento poco frecuente y los reducidos costes a largo plazo. En cambio, presentan una serie de ventajas propias, como la mayor capacidad de admisión de elevados asientos diferenciales, debido a su mayor flexibilidad, en comparación con las vías en placa de hormigón, que frente a pequeños asientos diferenciales fisuran rápidamente.

Las mezclas bituminosas, al tener un mayor factor de amortiguamiento debido a su comportamiento viscoso, favorecen la atenuación de vibraciones provocadas por el paso de vehículos y la reducción del nivel de ruido emitido respecto a las vías en placa tradicionales de hormigón.

Particularmente, existen en el mercado diferentes soluciones de vías en placa en las que se utilizan mezclas bituminosas, como son los sistemas siguientes:

2.2.1. SISTEMA GETRAC

En este sistema de vía en placa, la mezcla bituminosa aparece en la placa de soporte de la vía, sobre la cual se sitúa la traviesa monobloque de tipo B 316 W-60, tal como muestra la siguiente sección tipo (simplificada por simetría):



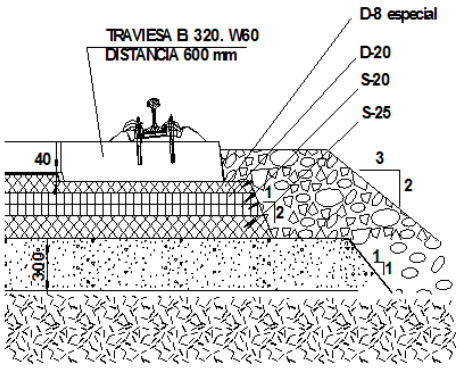
Se destaca que la unión entre la traviesa y la capa soporte se realiza a través de una pieza de hormigón en forma de taco, denominado "stopper", que sirve para proporcionarle a la vía estabilidad transversal. El paquete de mezclas bituminosas, que se sitúa sobre una base de grava cemento, tiene 30 cm de espesor total repartido en tres capas:

- **Capa inferior**: AC 32 Base 50/70 S (12 cm).
- **Capa media**: AC 32 Bin 50/70 S (12 cm).
- **Capa superior**: AC 8 Surf 25/55-65 D (6 cm).

Por lo tanto, igual que en el caso anterior, se requiere disponer un riego de imprimación sobre la base de grava cemento previamente a la extensión de las capas bituminosas. Posteriormente, entre capas bituminosas, será necesario realizar los correspondientes riegos de adherencia.

2.2.2. SISTEMA ATD

En este sistema de vía en placa, de la misma forma que en el anterior, la losa soporte de la plataforma es de mezcla bituminosa, sobre la cual se sitúa la traviesa monobloque de tipo B 320 W60-1668, tal como muestra la siguiente sección tipo (simplificada por simetría):



A diferencia con el caso anterior, la unión entre la traviesa y la capa superior de mezcla bituminosa se realiza mediante un zócalo de resistencia. Se trata de un resalto que se ejecuta durante el extendido de la última capa.

En cuanto al paquete de mezcla bituminosa, en total tiene 30 cm de espesor distribuido en las siguientes capas:

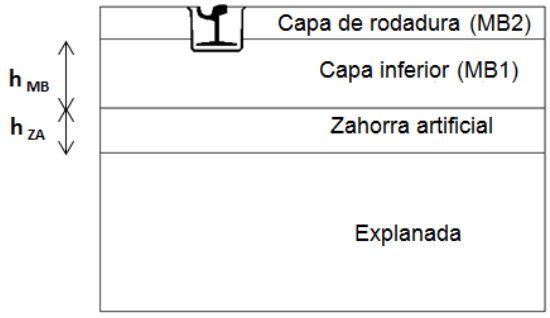
- **Capa de base**: AC 32 Base 50/70 S (12 cm).
- **Capa de base**: AC 22 Base 50/70 S (8 cm).
- **Capa intermedia**: AC 22 Bin 50/70 D (6 cm).
- **Capa superior**: AC 8 Surf 25/55-65 D (4 cm).

Por lo tanto, igual que en el caso anterior, se requiere disponer un riego de imprimación (igual que antes) sobre la base de grava cemento previamente a la extensión de las capas bituminosas. Posteriormente, entre capas bituminosas, será necesario realizar los correspondientes riegos de adherencia.

2.2.3. SISTEMA BITUTRAN

El sistema BITUTRAN busca un tipo de vía que atenúe las vibraciones y el ruido ferroviario en ámbitos urbanos.

La sección tipo de esta tipología de vía se muestra en la siguiente figura:



Se destaca que la capa inferior (MB1) es la que debe ser capaz de resistir los esfuerzos que genera la circulación de tranvías y atenuar las vibraciones. Por otra parte, la misión de la capa superior (MB2) es mantener el ancho de vía y servir de capa de rodadura para los casos en los que la circulación tranviaria y rodada es simultánea.

Al igual que la solución anterior se dispondrá de los riegos de imprimación y adherencia anteriormente descritos.

En España, en el año 2003, con el objeto de conocer mejor los distintos sistemas posibles para la vía en placa, se construyó un tramo de ensayo en la variante ferroviaria "Las Palmas de Castellón – Oropesa del Mar", en el cual se estudiaron seis modelos diferentes: Edilon, Rheda Dywidag, Rheda 2000, Stedef, Getrac y ATD.

De estos sistemas, los cuatro primeros se basan en losas de hormigón, y los dos últimos, de origen alemán, se basan en una placa soporte compuesta por un paquete de mezclas bituminosas, de modo similar a los firmes de carreteras.

Se emplearon, de abajo a arriba y con nomenclatura de aquel momento, 12 cm de mezcla S25, 8 cm de S20, 6 cm de D20 y 4 cm de D8. Se utilizó betún B 60/70, actualmente denominado 50/70, por tratarse de una zona térmica estival cálida y con un tipo de tráfico T1. En la capa superior se empleó betún modificado con polímeros.

Este tramo experimental fue construido por la Dirección General de Ferrocarriles del Ministerio de Fomento y, desde entonces, no se han tenido noticias de los resultados obtenidos ni de la continuación en la investigación y desarrollo de estos sistemas.

3. EMPLEO DE EMULSIONES BITUMINOSAS

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, varias son las posibilidades de empleo de emulsiones bituminosas en infraestructuras ferroviarias:

a) Como riego de imprimación para impermeabilizar capas granulares.

b) Como riego de adherencia entre capas constituidas por mezclas bituminosas, tanto en subbalasto bituminoso como en vía en placa.

c) Como riego de curado cuando se emplean capas tratadas con conglomerante hidráulico.

d) Como ligante en tratamientos superficiales con riegos con gravilla, que impermeabilicen la sección, y adicionalmente faciliten el tráfico de obra durante la construcción sin deteriorar las capas superiores.

e) Como ligante en mezclas bituminosas frías y templadas en subbalasto bituminoso. En Francia ya hay experiencias de empleo de gravaemulsión. Con mezclas templadas no existe experiencia, pero sin duda alguna, sus cualidades podrían implicar su consideración.

f) Como impermeabilizante, creando una lámina asfáltica adicional in situ.

La aplicación de emulsiones bituminosas para generar una lámina asfáltica in-situ, al tratarse de una aplicación muy particular, se detallará en el punto 4.

3.1. EMULSIONES A APLICAR SOBRE LA CAPA DE FORMA

La primera aplicación que tuvieron las mezclas bituminosas en el sector ferroviario fue como constituyentes de las capas de subbalasto, que se extienden sobre la capa de forma.

Para asegurar una correcta impermeabilización entre la capa de forma y la primera o única capa de subbalasto bituminoso, ha de ejecutarse un riego de imprimación, con emulsiones bituminosas que cumplan las siguientes características:

REQUISITOS	CLASES	
	C60BF4 IMP	**C50BF4 IMP**
Índice de ruptura (fíller Foshammer)	110 – 195 (Clase 4)	110-195 (Clase 4)
Tiempo de fluencia 2 mm a 40 °C	15 – 70 (Clase 3)*	15 – 70 (Clase 3)*
Adhesividad con el árido de referencia	≥ 90(Clase 3)	≥ 90 (Clase 3)
Contenido en ligante (por contenido en agua)	58 – 62 (Clase 6)	48 – 52 (Clase 4)
o ligante residual después de la destilación**	≥ 58(Clase 6)	≥ 48 (Clase 4)
Residuo de tamizado (tamiz 0,5mm)	≤ 0,1(Clase 2)	≤ 0,1 (Clase 2)
Tendencia a la sedimentación (almacenamiento durante 7 días)	≤10 (Clase 3)	≤ 10 (Clase 3)

* Se admite Clase 2 (≤ 20 s) para emulsiones de alto poder de penetración que, en base a su menor viscosidad, permiten una imprimación más eficaz de la base granular.

** El contenido de ligante de la emulsión determinado por el método de destilación descrito en la Norma EN 1431 debe definirse como (porcentaje en masa de ligante residual + contenido en masa del fluidificante destilado).

Y su ligante residual debe cumplir:

REQUISITOS	(Ligante residual por destilación)	(Ligante recuperado)	(Ligante estabilizado)
Penetración a 25°C	≤ 220* (Clase 5)	≤ 330 (Clase 7)**	≤ 220 (Clase 5)
Punto de reblandecimiento	≥35 (Clase 8)	≥35 (Clase 8)**	≥ 35(Clase 8)

* Para las emulsiones de tipo C50BF4 IMP, la penetración a 25 °C será ≤ 270 dmm (Clase 6).

** En el caso de emulsiones fabricadas con fluidificantes más pesados, se admite una penetración a 15 °C de entre 90 a 170 dmm (Clase 8) y un punto de reblandecimiento < 35 °C (Clase 9).

Si se emplearan emulsiones aniónicas, estas deberían cumplir las características que se recogen en la norma UNE 51603:2013 para los tipos A60BFL y A50BFL y que se muestran en la tabla siguiente:

REQUISITOS	CLASES	
	A60BFL	**A50BFL**
Tiempo de fluencia 2 mm a 40 °C	15 – 70	15 – 70
Contenido en ligante (por contenido en agua)	58 – 62	48 – 52
Fluidificante por destilación	3-8	5-15
Residuo de tamizado (tamiz 0,5mm)	≤ 0,1	≤ 0,1
Tendencia a la sedimentación (almacenamiento durante 7 días)	≤ 10	≤ 10

Y su ligante residual, obtenido por destilación debe cumplir:

REQUISITOS	A60BFL	A50BFL
Penetración a 25°C	≤ 220	220-330
Punto de reblandecimiento	≥35	≥35

. LIGANTE Y VISCOSIDAD

Se utilizarán emulsiones con un contenido de ligante bajo y con fluidificantes para asegurar la imprimación del soporte.

. COMPORTAMIENTO A ROTURA

Cuando se utiliza una emulsión catiónica, dicha emulsión debe tener un índice de ruptura elevado (110-195) que permita una correcta penetración en el soporte, antes de producirse su rotura.

. TAMIZADO

Al igual que el resto de emulsiones, las empleadas en esta aplicación no deben presentar tamizado

para asegurar la calidad del producto. Adicionalmente elevados valores de tamizado de las emulsiones empleadas podrían generar problemas de obstrucción de los difusores de las rampas de riego con las que se aplican.

Se recomienda una dotación de ligante residual de 500 g/m^2, para lo cual se aplicará una dotación de emulsión precisa en función de su contenido de ligante.

La emulsión se aplicará con una rampa de riego convencional. Este riego ha de aplicarse de manera uniforme en todo el ancho de la plataforma.

Opcionalmente se podrá aplicar un árido fino de cubrición (0/3, 0/4 o incluso 0/6) con dotación de 4-6 l/m^2.

3.2. EMULSIONES PARA ADHERENCIA ENTRE CAPAS DE SUBBALASTO BITUMINOSO Y EN VÍA EN PLACA

Para asegurar una correcta unión entre las sucesivas capas de subbalasto, se ha de aplicar un riego de adherencia con emulsiones que cumplan las siguientes características:

REQUISITOS	CLASES*	
	C60B2 ADH	**C60B3 ADH**
Índice de ruptura (fíller Foshammer)	< 110 (Clase 2)	70 – 155 (Clase 3)
Tiempo de fluencia 2 mm a 40 °C **	15-70 (Clase 3)	15-70 (Clase 3)
Adhesividad con el árido de referencia	≥ 90 (Clase 3)	≥ 90 (Clase 3)
Contenido en ligante (por contenido en agua)	58 – 62 (Clase 6)	58 – 62 (Clase 6)
o ligante residual después de la destilación ***	≥ 58 (Clase 6)	≥ 58 (Clase 6)
Residuo de tamizado (tamiz 0,5mm)	≤ 0,1 (Clase 2)	≤ 0,1 (Clase 2)
Tendencia a la sedimentación (almacenamiento durante 7 días)	≤ 10 (Clase 3)	≤ 10 (Clase 3)

* Se elige el empleo de una de estas emulsiones en función de la época del año en que se ejecute la obra. Con tiempo frío se recomienda la C60B2 ADH.

** Se pueden emplear emulsiones de Clase 4 para el tiempo de fluencia (40-130 s), en cuyo caso se procederá a regar a mayor temperatura.

*** El contenido de ligante de la emulsión determinado por el método de destilación descrito en la Norma EN 1431 debe definirse como (porcentaje en masa de ligante residual + contenido en masa del fluidificante destilado).

Y su ligante residual debe cumplir:

REQUISITOS	(Ligante residual por destilación)	(Ligante recuperado)	(Ligante estabilizado)
Penetración a 25°C	≤ 220 (clase 5)*	≤ 330 (Clase 7) **	≤ 220 (clase 5)*
Punto de reblandecimiento	≥ 35 (clase 8)*	3 35 (Clase 8) **	≥ 43 (clase 6)*

* Se admiten emulsiones fabricadas con betunes más duros (Penetración Clase 3 (≤ 100 dmm) y Punto de reblandecimiento Clase4 (≥ 50 °C), a emplear en zonas cálidas.

** Se admiten emulsiones fabricadas con betunes más duros (Penetración Clase 4 (≤ 150 dmm) y Punto de reblandecimiento Clase 6 (≥ 43 °C), a emplear en zonas cálidas.

Si se aplicaran emulsiones termoadherentes en estos riegos, las características de estas emulsiones serían las siguientes:

REQUISITOS	CLASES*	
	C60B2 TER	C60B3 TER
Índice de ruptura (fíller Foshammer)	< 110 (Clase 2)	70 – 155 (Clase 3)
Tiempo de fluencia 2 mm a 40 °C**	15-70 (Clase 3)	15-70 (Clase 3)
Adhesividad con el árido de referencia	≥ 90 (Clase 3)	≥ 90 (Clase 3)
Contenido en ligante (por contenido en agua)	58 – 62 (Clase 6)	58 – 62 (Clase 6)
o ligante residual después de la destilación***	≥ 58 (Clase 6)	≥ 58 (Clase 6)
Residuo de tamizado (tamiz 0,5mm)	≤ 0,1 (Clase 2)	≤ 0,1 (Clase 2)
Tendencia a la sedimentación (almacenamiento durante 7 días)	≤ 10 (Clase 3)	≤ 10 (Clase 3)

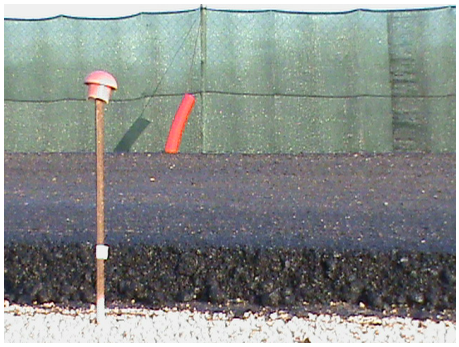
* Se elige el empleo de una de estas emulsiones en función de la época del año en que se ejecute la obra. Con tiempo frío se recomienda la C60B2 TER.

** Se pueden emplear emulsiones de Clase 4 para el tiempo de fluencia (40-130 s), en cuyo caso se procederá a regar a mayor temperatura.

*** El contenido de ligante de la emulsión determinado por el método de destilación descrito en la Norma EN 1431 debe definirse como (porcentaje en masa de ligante residual + contenido en masa del fluidificante destilado).

Y su ligante residual debe cumplir:

REQUISITOS	(Ligante residual por destilación)	(Ligante recuperado)	(Ligante estabilizado)
Penetración a 25°C	≤ 50 (clase 2)	≤ 50 (Clase 2) *	≤ 50 (clase 2)
Punto de reblandecimiento	≥ 50 (clase 4)	3 50 (Clase 4)	≥ 50 (clase 4)
* Con temperatura ambiente alta es aconsejable emplear residuos de penetración inferior a 30 dmm a 25 °C y punto de reblandecimiento > 55 °C			



Se recomienda una dotación de ligante residual como mínimo de 200 g/m² y máximo de 350 g/m², para lo cual se aplicará una dotación de emulsión precisa en función de su contenido de ligante.

La emulsión se aplicará con una rampa de riego convencional. Este riego ha de aplicarse de manera uniforme en todo el ancho de la plataforma.

3.3. EMULSIONES PARA RIEGOS DE CURADO SOBRE CAPAS TRATADAS CON CONGLOMERANTE HIDRÁULICO

En el caso en que existan capas tratadas con ligante hidráulico, es necesaria la utilización de emulsiones de curado, que deben cumplir las siguientes características:

REQUISITOS	CLASES*	
	C60B2 CUR	C60B3 CUR
Índice de ruptura (fíller Foshammer)	< 110 (Clase 2)	70 – 155 (Clase 3)
Tiempo de fluencia 2 mm a 40 °C**	15-70 (Clase 3)	15-70 (Clase 3)
Adhesividad con el árido de referencia	≥ 90 (Clase 3)	≥ 90 (Clase 3)
Contenido en ligante (por contenido en agua)	58 – 62 (Clase 6)	58 – 62 (Clase 6)
o ligante residual después de la destilación***	≥ 58 (Clase 6)	≥ 58 (Clase 6)

REQUISITOS	CLASES*	
	C60B2 CUR	C60B3 CUR
Residuo de tamizado (tamiz 0,5mm)	≤ 0,1 (Clase 2)	≤ 0,1 (Clase 2)
Tendencia a la sedimentación (almacenamiento durante 7 días)	≤ 10 (Clase 3)	≤ 10 (Clase 3)

* Se elige el empleo de una de estas emulsiones en función de la época del año en que se ejecute la obra. Con tiempo frío se recomienda la C60B2 ADH.

** Se pueden emplear emulsiones de Clase 4 para el tiempo de fluencia (40-130 s), en cuyo caso se regará a mayor temperatura.

*** El contenido de ligante de la emulsión determinado por el método de destilación descrito en la Norma EN 1431 debe definirse como (porcentaje en masa de ligante residual + contenido en masa del fluidificante destilado).

Y su ligante residual debe cumplir:

REQUISITOS	(Ligante residual por destilación)	(Ligante recuperado)	(Ligante estabilizado)
Penetración a 25°C	≤ 220 (clase 5)*	≤ 330 (Clase 7) **	≤ 220 (clase 5)*
Punto de reblandecimiento	≥ 35 (clase 8) *	≥ 35 (Clase 8) **	≥ 35 (clase 8)*

* Se admiten emulsiones fabricadas con betunes más duros (Penetración Clase 3 (≤ 100 dmm) y Punto de reblandecimiento Clase4 (≥ 50 ° C), a emplear en zonas cálidas.

** Se admiten emulsiones fabricadas con betunes más duros (Penetración Clase 4 (≤ 150 dmm) y Punto de reblandecimiento Clase 6 (≥ 43 °C), a emplear en zonas cálidas.

Se recomienda una dotación de ligante residual como mínimo de 300 g/m^2, para lo cual se aplicará una dotación de emulsión precisa en función de su contenido de ligante.

La emulsión se aplicará con una rampa de riego convencional. Este riego ha de aplicarse de manera uniforme en todo el ancho de la capa tratada con conglomerante hidráulico.

3.4. EMULSIONES PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE RIEGOS CON GRAVILLA

Cuando se empleen tratamientos superficiales de tipo riegos con gravilla que faciliten el tráfico de obra durante la etapa de construcción, evitando así el deterioro de las capas existentes, se utilizarán emulsiones

que cumplan las siguientes características:

REQUISITOS	CLASES*	
	C65B2 TRG	**C65B3 TRG**
Índice de ruptura (fíller Foshammer)	< 110 (Clase 2)	70 – 155 (Clase 3)
Tiempo de fluencia 4 mm a 40 °C**	5-70 (Clase 3)	5-70 (Clase 3)
Adhesividad con el árido de referencia	≥ 90 (Clase 3)	≥ 90 (Clase 3)
Contenido en ligante (por contenido en agua)	63 – 67 (Clase 7)	63 – 67 (Clase 7)
o ligante residual después de la destilación***	≥ 63 (Clase 6)	≥ 63 (Clase 6)
Residuo de tamizado (tamiz 0,5mm)	≤ 0,1 (Clase 2)	≤ 0,1 (Clase 2)
Tendencia a la sedimentación (almacenamiento durante 7 días)	≤ 10 (Clase 3)	≤ 10 (Clase 3)

* Se elige el empleo de una de estas emulsiones en función de la época del año y la climatología en el momento en que se ejecute la obra. Con tiempo frío se recomienda la C65B2 TRG que consigue que un tiempo de rotura más corto y, con ello, que la apertura al tráfico sea más rápida.

** Se admite el empleo de emulsiones con tiempo de fluencia Clase 5 Clase 4 (40-130 s a 40 °C con orificio de 2 mm).

*** El contenido de ligante de la emulsión determinado por el método de destilación descrito en la Norma EN 1431 debe definirse como (porcentaje en masa de ligante residual + contenido en masa del fluidificante destilado).

Y su ligante residual debe cumplir:

REQUISITOS	(Ligante residual por destilación)	(Ligante recuperado)	(Ligante estabilizado)
Penetración a 25°C	≤ 220 (clase 5)**	≤ 330 (Clase 7) *	≤ 220 (clase 5)**
Punto de reblandecimiento	≥ 35 (clase 8) **	≥ 35 (Clase 8) *	≥ 35 (clase 8)**

*Se admiten emulsiones fabricadas con betunes más duros (Penetración Clase 4 (≤ 150 dmm) y Punto de reblandecimiento Clase 6(≥ 43 °C), a emplear en zonas cálidas.

** Se admiten emulsiones fabricadas con betunes más duros (Penetración Clase 3 (≤ 100 dmm) y Punto de reblandecimiento Clase 6 (≥ 43 °C), a emplear en zonas.

También podrán emplearse:

REQUISITOS	CLASES C69B2 TRG
Índice de ruptura (fíller Foshammer)	< 110 (Clase 2)
Tiempo de fluencia 4 mm a 40 °C	40-100 (Clase 6)* 5-70 (Clase 3)
Adhesividad con el árido de referencia	≥ 90 (Clase 3)
Contenido en ligante (por contenido en agua) o ligante residual después de la destilación**	67 – 71 (Clase 9) ≥ 67 (Clase 9)
Residuo de tamizado (tamiz 0,5mm)	≤ 0,1 (Clase 2)
Tendencia a la sedimentación (almacenamiento durante 7 días)	≤ 5 (Clase 2)

* Se admite el empleo de emulsiones con Tiempo de fluencia Clase 5 (5-70 s a 40 °C con orificio de 4 mm).

** El contenido de ligante de la emulsión determinado por el método de destilación descrito en la Norma EN 1431 debe definirse como (porcentaje en masa de ligante residual + contenido en masa del fluidificante destilado).

Y su ligante residual debe cumplir:

REQUISITOS	(Ligante residual por destilación)	(Ligante recuperado)	(Ligante estabilizado)
Penetración a 25°C	≤ 220 (clase 5)**	≤ 330 (Clase 7) *	≤ 220 (clase 5)**
Punto de reblandecimiento	≥ 35 (clase 8)**	≥ 35 (Clase 8) *	≥ 35 (clase 8)**

* Se admiten emulsiones fabricadas con betunes más duros (Penetración Clase 4 (≤ 150 dmm) y Punto de reblandecimiento-Clase 6 (≥ 43 °C)), a emplear en zonas cálidas.

** Se admiten emulsiones fabricadas con betunes más duros (Penetración Clase 3 (≤ 100 dmm) y Punto de reblandecimiento Clase 5 (≥ 46 °C)), a emplear en zonas cálidas.

Todos los detalles de esta aplicación quedan detallados en la monografía de ATEB de Riegos con Gravilla.

. LIGANTE Y VISCOSIDAD

Se aplicarán emulsiones con un elevado contenido de ligante para asegurar una viscosidad tal que permita formar una altura de película de ligante suficiente para recubrir adecuadamente el árido a utilizar. Viscosidades demasiado altas darán problemas de dosificación y, si ésta es muy baja, habrá problemas de escurrimiento, disminuyendo la altura de película de ligante que recubre el árido.

. VELOCIDAD DE ROTURA

La velocidad de rotura debe de ser tal que permita un adecuado contacto entre ligante y árido sin que la emulsión llegue a romper y que permita una correcta compactación del riego tras la extensión de la gravilla. En este sentido se recomiendan emulsiones de rotura rápida.

. TAMIZADO

Es fundamental que estas emulsiones no presenten valores de tamizado superiores a los máximos especificados, ya que se podrían obstruir los difusores de las rampas de riego. Las zonas no regadas no sujetarán el árido y se formarán líneas longitudinales sin tratamiento.

. SEDIMENTACIÓN

Estas emulsiones no deben presentar problemas de sedimentación. Su alto contenido de ligante ayuda sin duda al almacenamiento de las mismas.

Las dotaciones a emplear dependerán del tipo de riego que se realice.

3.5. EMULSIONES PARA LA FABRICACIÓN DE MEZCLA BITUMINOSA EN FRÍO Y TEMPLADA COMO SUBBALASTO BITUMINOSO

Si se fabrica mezcla bituminosa en frío o templada como subbalasto bituminoso, la emulsión a emplear debe cumplir:

REQUISITOS	CLASES*	
	C65B3 MBC	**C65B4 MBC**
Índice de ruptura (fíller Foshammer)	70-155 (Clase 3)	110-195 (Clase 4)
Tiempo de fluencia 2 mm a 40 °C	5-70 (Clase 5)**	5-70 (Clase 5)**

REQUISITOS	CLASES*	
	C65B3 MBC	**C65B4 MBC**
Adhesividad con el árido de referencia	≥ 90 (Clase 3)	≥ 90 (Clase 3)
Contenido en ligante (por contenido en agua)	63-67 (Clase 7)	63-67 (Clase 7)
o ligante residual después de la destilación***	≥ 63 (Clase 7)	≥ 63 (Clase 7)
Residuo de tamizado (tamiz 0,5mm)	≤ 0,1 (Clase 2)	≤ 0,1 (Clase 2)
Tendencia a la sedimentación (almacenamiento durante 7 días)	≤ 5 (Clase 2)	≤ 5 (Clase 2)

* Se elige el tipo de emulsión en función de la granulometría y la humedad de los áridos, así como por la temperatura de fabricación. Las de rotura más rápida serán más adecuadas con áridos más húmedos, con áridos con menos finos y con temperaturas de fabricación más altas (mezclas templadas con calentamiento de áridos entre 50 y 100 °C).

** Se pueden emplear emulsiones de Clase 4 para el tiempo de fluencia (40-130 s a 40 °C con el orificio de 2 mm).

*** El contenido de ligante de la emulsión determinado por el método de destilación descrito en la Norma EN 1431 debe definirse como (porcentaje en masa de ligante residual + contenido en masa del fluidificante destilado).

Y su ligante residual debe cumplir:

REQUISITOS	Ligante residual por destilación	Ligante recuperado	Ligante estabilizado
Penetración a 25°C	≤ 100 (clase 3)	≤ 100 (Clase 3)*	≤ 100 (Clase 3)*
Punto de reblandecimiento	≥ 43 (clase 6)	≥ 43 (clase 6)	≥ 43 (clase 6)

* Se pueden emplear emulsiones con residuo de Penetración de Clase 2, 3 o 4 dependiendo del tipo de mezcla a fabricar y la climatología. Cuando la Penetración sea clase 2, la clase de Punto de reblandecimiento debe ser la 4. Cuando sea clase 4, la clase de Punto de reblandecimiento debe ser la 7.

Los porcentajes de ligante de la mezcla así como el tipo de emulsión a emplear, quedarán definidos en la fórmula de trabajo.

4. LÁMINA ASFÁLTICA ADICIONAL IN SITU

El tránsito ferroviario se caracteriza por estar constituido por cargas dinámicas rápidas y repetitivas. Uno de los principales deterioros de las vías ferroviarias se debe a la contaminación del balasto y al punzonamiento de la capa de subbalasto. Por lo tanto, en el caso particular de utilizar un subbalasto bituminoso, es conveniente proteger la superficie de la capa bituminosa para que ésta no se vea dañada por la posible hinca de piedras de balasto.

Para este tipo de aplicación lo importante es generar una lámina in situ de ligante residual de un grosor importante y consistencia elevada para que no se produzca la hinca del balasto. Para ello se podrán emplear diferentes tipos de emulsiones de rotura rápida, ya sean aniónicas o catiónicas, cuyas características serán aportadas por el fabricante de la emulsión.

En el caso de las aniónicas, que rompen por evaporación, por lo general, se emplearán conjuntamente con agentes ruptores que faciliten la formación de la lámina impermeabilizante en el menor tiempo posible.

Es adecuado el empleo de emulsiones bituminosas de rotura rápida y modificadas con polímeros, especialmente formuladas para la impermeabilización de superficies que, una vez aplicada, conforme un revestimiento de alta elasticidad y gran resistencia al punzonamiento totalmente adherido al soporte.
El anexo nacional de emulsiones bituminosas catiónicas no contempla ninguna emulsión para esta aplicación en concreto pero se podría definir una para tal uso al amparo de la UNE-EN 13808. Tampoco hay ninguna aniónica modificada para este tipo de aplicación en base a la UNE 51603. Por tanto, las especificaciones de la emulsión y dotaciones a emplear, serán entonces las que defina cada fabricante en su ficha técnica.

. LIGANTE

El contenido de ligante residual de la emulsión condicionará la dotación de emulsión a aplicar.
El ligante residual debe ser de consistencia elevada, debiéndose utilizar betunes de baja penetración y/o betunes modificados.

. COMPORTAMIENTO A ROTURA

Cuando se utiliza una emulsión catiónica, dicha emulsión debe tener un índice de ruptura bajo (<110) que permita que la emulsión rompa rápidamente.

. TAMIZADO

Al igual que el resto de emulsiones, las empleadas en esta aplicación no deben presentar tamizado para asegurar la calidad del producto. Adicionalmente, elevados valores de tamizado de las emulsiones empleadas podrían generar problemas de obstrucción de los difusores de las rampas de riego con las

que se aplican.

Se recomienda una dotación de ligante residual de 3 a 5 Kg/m^2, dependiendo del estado del soporte y para lo cual, se aplicará una dotación de emulsión precisa en función de su contenido de ligante.

La emulsión se aplicará con una rampa de riego convencional. El número de aplicaciones del riego será función de la dotación de ligante residual recomendado, pudiendo llegar a ser de hasta 5 pasadas. Este riego ha de aplicarse de manera uniforme en todo el ancho de la plataforma.

Hay productos que requieren de un sistema de proyección homologado que permite la formación de una membrana continua de impermeabilización in situ de excelente calidad y elasticidad.

5. MAQUINARIA

La maquinaria a emplear dependerá del tipo de aplicación de la emulsión bituminosa.

Se utilizará una cisterna de riego cuando la emulsión se emplee como:

- **Riego de adherencia entre capas constituidas por mezclas bituminosas**, tanto en subbalasto bituminoso como en vía en placa.
- **Riego de imprimación** para impermeabilizar capas granulares.
- **Riego de curado** cuando se empleen capas tratadas con conglomerante hidráulico.
- **Ligante en tratamientos superficiales** con riegos con gravilla.
- **Impermeabilizante**, creando una lámina asfáltica adicional in situ.

Si la emulsión se emplea para la fabricación de subbalasto bituminoso, sea en frío, sea en templado, se utilizarán plantas de fabricación de mezcla así como sistemas convencionales de transporte, extendido y compactación.

5.1. EMULSIÓN PARA RIEGOS Y LÁMINA ASFÁLTICA ADICIONAL IN-SITU

La cisterna de riego a utilizar será la misma que la que aparece en la monografía de ATEB de riegos

auxiliares.

Suele ser de forma elíptica, con capacidad variable entre los 5.000 y 20.000 l, calorifugada para que las pérdidas de temperatura no superen de media los 2°C/hora. Es deseable que la cisterna cuente con un sistema de calentamiento que, en caso necesario, garantice la temperatura deseada del producto en el momento de su empleo.

Debe ir dotada de termómetros para el control de temperatura y de indicadores de nivel. Igualmente debe disponer de todos aquellos sistemas de seguridad que para la aplicación y el transporte de estos productos sean exigidos en la reglamentación vigente.

Para la aplicación de la emulsión de un modo homogéneo y constante, se emplea la denominada rampa de pulverización. Esta homogeneidad y dotación constante puede conseguirse mediante varios sistemas, siendo los más usuales y prácticos los que siguen:

- **Presión** constante.
- **Volumen** constante.
- **Dosificación** constante.

El primer sistema exige la utilización de un pequeño compresor, cuya misión es la de reponer las pérdidas de altura por vaciado del tanque.

La alimentación a volumen constante es el procedimiento más extendido, y la impulsión se efectúa mediante bomba volumétrica. Todo el ligante distribuido por la bomba a la rampa va a la zona de tratamiento. En este caso, es posible variar la dosificación, bien haciendo variar la velocidad de rotación de la bomba, bien variando la velocidad de avance del camión.

El sistema de dosificación constante es el más moderno, y su máximo interés reside en la regularidad de la dosificación con la velocidad del distribuidor, en virtud del acoplamiento de una bomba volumétrica en las ruedas motoras de la unidad tractora.

El ligante se extiende a través de rampas que están constituidas por un cuerpo principal replegable o por varios elementos telescópicos. A veces se ponen en funcionamiento difusores correctores de dosificación situados en los extremos de la rampa. Las modernas rampas telescópicas, tienen la ventaja de adecuarse fácilmente a variaciones continuas de la anchura en las superficies a revestir.

Las operaciones de aplicación del ligante plantean dos problemas que exigen la máxima atención: Las

juntas de trabajo. Las juntas transversales originadas por paradas de las cisternas, y juntas longitudinales que se establecen cuando la distribución se realiza por varios anchos.

5.2. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE RIEGO CON GRAVILLA

Cuando se aplica un tratamiento superficial de riego con gravilla, además de la cisterna descrita en el apartado anterior, es necesario:

- **Gravilladora.**
- **Compactación.**

Como se ha comentado anteriormente, todos los detalles de esta aplicación quedan definidos en la Monografía de ATEB de Riegos con Gravilla.

5.2.1. GRAVILLADORA

La extensión del árido se realiza mediante una gravilladora y deberá seguir inmediatamente a la del ligante y, en general, definirá el rendimiento de la obra.

La distancia entre las dos operaciones no deberá sobrepasar el minuto, lo que corresponde, teniendo en cuenta las velocidades de los riegos, a una distancia comprendida entre 50 y 100 m.

Cuando el riego del ligante se realice a temperaturas elevadas o cuando los ligantes posean viscosidades elevadas, es conveniente reducir la separación entre ambas máquinas. No es aconsejable que la separación supere los 20-30 metros.

Las repartidoras de gravillas, normalmente utilizadas en la ejecución de tratamientos superficiales, corresponden a los siguientes tipos:

- **Montadas** sobre camión.
- **Empujadas** por camión.
- **Autopropulsadas.**

5.2.2. COMPACTACIÓN

La compactación se llevará a cabo con compactadores de tipo neumático.

5.3. LIGANTE EN MEZCLAS BITUMINOSAS EN FRÍO COMO SUBBALASTO BITUMINOSO

Cuando la emulsión se emplea en la fabricación de mezclas bituminosas en frío como subbalasto bituminoso, la maquinaria a utilizar será la siguiente:

- **Planta de fabricación** de la mezcla bituminosa.
- **Transporte** a obra y extensión.
- **Tren** de compactación.

5.3.1. PLANTA DE FABRICACIÓN DE MEZCLA BITUMINOSA

Este tipo de mezclas, se fabrican tradicionalmente con las plantas de aglomerado en frío con la inclusión de un tanque para la dosificación del agua de preenvuelta, aunque en ocasiones se emplean plantas de mezclas en caliente. La simplicidad y economía de las primeras las hace muy recomendables para esta técnica. En general consta de los siguientes elementos:

- **Acopios** de árido.
- **Tolvas** de áridos.
- **Cintas** transportadoras.
- **Cajón** mezclador.
- **Tanque** de emulsión.
- **Bomba** de emulsión.
- **Pulverizadores** de emulsión.

Además de estos elementos pueden contar con otros adicionales como sistema de aporte de agua o aditivos, cribas, etc. Las plantas modernas de fabricación de mezclas bituminosas abiertas en frío han evolucionado muy notablemente, pues en su mayoría poseen sistemas de pesada en línea y están comandadas desde una cabina de control similar a la de una planta en caliente.

Estas plantas modernas de fabricación permiten fabricar de 100 a 200 t/h de mezcla en frío, aunque cada vez hay más plantas con mayores capacidades de producción. Son transportables o fijas.

Presentan sistemas de dosificación ponderal. Una o dos cintas. Uno o dos mezcladores. Dosificador volumétrico de agua, aditivos y emulsión.

Dosificador ponderal de fíller de aportación y cabina con control de todos los elementos de dosificación.

5.3.2. TRANSPORTE A OBRA Y EXTENSIÓN DE LA MEZCLA

El transporte a obra se hará por medio de camiones bañera de caja lisa y estanca.
La extensión de la mezcla se realizará con extendedoras convencionales de orugas o neumáticos.

5.3.3. COMPACTACIÓN

La compactación se realizará con rodillos metálicos, lisos y con compactadores de neumáticos comenzando por los bordes y progresando hacia el centro del carril, solapándose en cada recorrido.

5.4. LIGANTE EN MEZCLAS BITUMINOSAS TEMPLADAS COMO SUBBALASTO BITUMINOSO

En el empleo de mezclas templadas como subbalasto bituminoso, no existe experiencia, pero sin duda alguna, sus cualidades podrían implicar su consideración.

Si bien en las operaciones de transporte y puesta en obra se emplean los mismos equipos que en las mezclas bituminosas convencionales, en la fabricación de las mezclas templadas existen condicionantes particulares que introducen diferencias en el proceso y requieren instalaciones con ciertas especificidades o adaptaciones. Estas especificidades quedan reflejadas en la Monografía de ATEB de Mezclas Templadas.

6. BIBLIOGRAFÍA

Pliego de Prescripciones Técnicas Tipo para los Proyectos de Plataforma (PGP 2011). ADIF.

Asphalt in Railway Tracks. European Asphalt Pavement Association. Octubre de 2003.

Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3). Ministerio de Fomento.

Ángel Sampedro, Javier Pablo Ainchil, Francisco Lucas. "Subbalasto bituminoso. Mezclas asfálticas en infraestructuras ferroviarias de altas prestaciones." (Asefma, 2012)

Ángel Sampedro, Juan Antonio Villaronte, Francisco Lucas. "Mezclas asfálticas en infraestructuras ferroviarias de altas prestaciones". (CILA, 2013)

Investigación sobre el comportamiento de los distintos tipos de balasto ante la aplicación de los criterios de las diferentes normativas. (Ramiro Martínez-Llop Gutiérrez)

Experiencia con el subbalasto bituminoso y posible implantación en líneas de alta carga de tráfico

Disposición de la canaleta en las secciones de subbalasto bituminoso

Nuevos materiales aplicados a la infraestructura ferroviaria. Miguel del Sol Sánchez

Monografía de ATEB de Tratamientos Superficiales de Riegos Auxiliares

Monografía de ATEB de Riegos con Gravilla

Monografía de ATEB de Gravaemulsión

Monografía de ATEB de Mezclas Templadas

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS

www.ateb.es | gerencia@ateb.es