

# NUEVOS CAMPOS DE APLICACIÓN DE EMULSIONES BITUMINOSAS

## EMULSIONES EN CENTRALES SOLARES

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS (ATEB)



**ATEB**

[www.ateb.es](http://www.ateb.es)

1ª Edición mayo 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 Management 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)

José Luis Pradas Díaz (Repsol)

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)

Verónica Contreras (Repsol)

Santiago Gil Redondo (Campi y Jove)

Rafael Guillén Carmona (Sacyr Construcción)

Francisco José Lucas Ochoa (Repsol)

Nuria Uguet Canal (Eurovia Management España)

### 1. INTRODUCCIÓN

### 2. ESTADO DEL ARTE SOBRE EL EMPLEO DE EMULSIÓN BITUMINOSA EN CENTRALES SOLARES

### 3. TRATAMIENTOS A EMPLEAR

### 4. RIEGO DE HUMEO O ANTIPOLVO

- 4.1. Materiales
- 4.2. Dotación del riego de humeo
- 4.3. Maquinaria
- 4.4. Precauciones

### 5. TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE RIEGOS CON GRAVILLA

#### 5.1. Tipos de tratamientos

- 5.1.1 Tratamiento monocapa
- 5.1.2 Tratamiento monocapa doble engravillado
- 5.1.3 Tratamiento bicapa

#### 5.2. Materiales

- 5.2.1 Emulsión
- 5.2.2 Árido

#### 5.3. Fórmula de trabajo

- 5.3.1. Tratamiento monocapa
- 5.3.2. Tratamiento monocapa preengravillado
- 5.3.3. Tratamiento bicapa
- 5.3.4. Factores de Corrección

### 5.4. Maquinaria

5.4.1. Cisterna de Riego

5.4.2. Gravilladora

5.4.3. Compactación

### 5.5. Precauciones

## 6. ESTABILIZADO DE SUELOS CON EMULSIÓN BITUMINOSA

### 6.1. Materiales

6.1.1. Emulsión

6.1.2. Suelo

### 6.2. Fórmula de trabajo

### 6.3. Maquinaria

6.3.1. Recicladora / Estabilizadora

6.3.2. Tren de compactación

### 6.4. Precauciones

## 7. BIBLIOGRAFÍA

## 1. INTRODUCCIÓN

Para mitigar los efectos del cambio climático es fundamental reducir de manera drástica las emisiones de CO<sub>2</sub> por persona y año. Se sabe que más de dos tercios de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero se producen en el sector de la energía.

Tras la cumbre de París de finales de 2015, la práctica totalidad de los países está de acuerdo en que la pieza clave de la sostenibilidad energética son las energías renovables. Si se quiere cumplir el compromiso adquirido en París, para que el aumento de la temperatura a final de siglo no supere los 2 °C, se deben impulsar este tipo de energías.

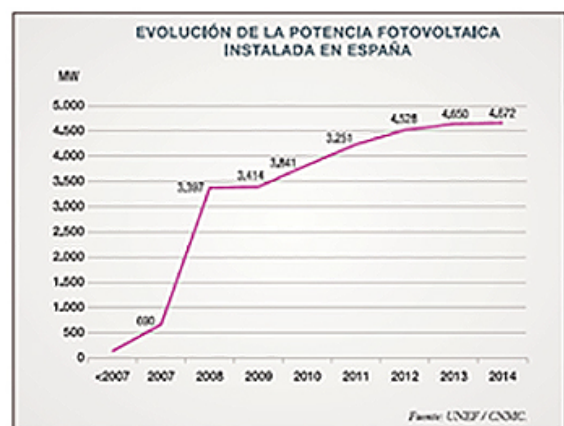
Se consideran energías renovables la energía solar, la eólica, la geotérmica y la hidráulica. También pueden incluirse en este grupo la biomasa y la energía mareomotriz.

Actualmente existen **tres formas principales** de aprovechamiento de la energía solar:

- **Energía solar térmica**, que convierte la energía procedente del sol en calor que puede utilizarse en climatización de edificios y piscinas, producción de agua caliente o aplicaciones industriales.
- **Energía solar fotovoltaica**, que transforma la energía recibida del sol en energía eléctrica, que puede almacenarse en baterías o incorporarse a la red eléctrica.
- **Energía solar pasiva**, es el conjunto de técnicas dirigidas al aprovechamiento de la energía solar de forma directa, sin transformarla en otro tipo de energía, para su utilización inmediata o para su almacenamiento, sin la necesidad de sistemas mecánicos ni aporte externo de energía, aunque puede ser complementada por ellos.

España es uno de los países de Europa con mayor irradiación anual. Esto hace que la energía solar sea en este país más rentable que en otros. Regiones como el norte de España, que generalmente se consideran poco adecuadas para la energía fotovoltaica, reciben más irradiación anual que la media de Alemania, país que mantiene desde hace años el liderazgo en la promoción de la energía solar fotovoltaica.

Desde finales de la primera década del siglo XXI, la potencia solar (fotovoltaica y termosolar) instalada en España ha aumentado hasta alcanzar los 4.7 GW aproximadamente (Dirección de Energía Eléctrica. CNMC. Abril. 2014).



## 2. ESTADO DEL ARTE SOBRE EL EMPLEO DE EMULSIONES BITUMINOSAS EN CENTRALES SOLARES.

La obra civil de un parque solar contempla las siguientes actuaciones:

- **Cimentación** del panel
- **Viales** de acceso
- **Zanja** de canalización eléctrica

La ejecución de los viales interiores de acceso comprende una primera fase de apertura de la traza, con desbroce y retirada de la capa de tierra vegetal, hasta localizar un material suficientemente compactado, válido como soporte del nuevo vial.

Los **materiales empleados** en la formación de los viales dependen del tipo de suelo existente en cada emplazamiento; en cualquier caso, se parte de una sección tipo compuesta por una primera capa de material previamente seleccionado (de espesor variable, aproximadamente 20-40 cm), debidamente compactado, y una segunda capa de rodadura de zahorras naturales o artificiales.

En sus bordes laterales llevarán una cuneta de desagüe, que se diseñará en función de las condiciones pluviométricas de la zona.

La utilización de zahorras o materiales granulares poco cohesivos como capa de rodadura en las vías de acceso, hace que se genere una gran cantidad de polvo con el paso de los vehículos que se deposita en los espejos, disminuyendo así su rendimiento.

En zonas donde no hay tránsito de vehículos también se genera polvo en suspensión por efecto del viento, que se puede depositar en los espejos.

Para minimizar esta generación de polvo, se han empleado distintas técnicas de pavimentación, desde **riegos auxiliares con emulsión bituminosa** hasta técnicas convencionales de pavimentación como por ejemplo las mezclas bituminosas en caliente, tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla (TSRG), etc.

Dado que los accesos a dichos paneles solares soportan un tráfico muy puntual, no se requiere un tratamiento con gran capacidad portante. Por este motivo suelen emplearse tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla (TSRG), ya que son una solución muy interesante por su economía y practicidad.

Las razones fundamentales para utilizar esta técnica en centrales solares son:

- **Reduce o elimina** el polvo procedente de las capas granulares.
- **Impermeabilización** del soporte alargando así su vida útil.
- **Versatilidad:** En función del estado del terreno, se puede elegir un tipo de TSRG u otro.
- **Rapidez** de ejecución.
- **Economía:** Técnica de pavimentación con un bajo coste por metro cuadrado.
- **Reparación** sencilla, económica y rápida.
- **Aplicación** a temperatura ambiente.

El empleo de emulsiones, producto apto desde un punto de vista ecológico ya que se aplica a temperatura ambiente y que lo único que libera al medio es agua y, el bajo coste del tratamiento, lo convierten en una técnica sostenible.

### 3. TRATAMIENTOS A EMPLEAR

Aunque como se ha comentado anteriormente suelen emplearse tratamientos superficiales de riegos con gravilla, existen otras posibilidades.

El tipo de tratamiento a elegir dependerá fundamentalmente del estado del soporte y del uso final. Igualmente, los tratamientos a emplear se adaptarán según se trate de una obra nueva o de tareas de conservación de centrales en uso.

Este documento contempla los siguientes tratamientos:

- **Riegos** de humeo o antipolvo.
- **Tratamientos** superficiales mediante riegos con gravilla.
- **Estabilización** de suelos.



## 4. RIEGOS DE HUMEEO O ANTIPOLVO

Se trata de aplicaciones de **emulsiones bituminosas con bajo contenido de ligante** que permiten controlar la generación de partículas de polvo en la superficie.

Estos riegos deben limitarse a las zonas en las que haya tráfico muy bajo y a zonas entre viales. Es una técnica ideal para zonas donde no hay tránsito de vehículos pero que se genera polvo en suspensión por efecto del viento.

Las **principales características** de estos riegos son las siguientes:

- **Protege** al firme de la acción del agua.
- **Elimina** el polvo en superficie.
- **Muy bajo costo.**
- **Elevados** rendimientos.

Las emulsiones a emplear son emulsiones de bajo contenido de ligante que le confiere una baja viscosidad para que puedan penetrar bien en la superficie a tratar. Suelen ser **emulsiones** de tipo C55B5 y A55BR. También pueden utilizarse emulsiones de imprimación de tipo C50BF4 IMP.

La aplicación de la emulsión se realiza con una cisterna con rampa regadora previo barrido ligero para eliminar elementos sueltos. En algunos casos se recomienda humectar el soporte para facilitar la penetración del ligante.

### 4.1 MATERIALES

La **emulsión** a emplear en el riego de humeo será aniónica o catiónica, de baja viscosidad para que pueda mojar bien la superficie. También pueden emplearse emulsiones con fluidificante de tipo C50BF4 IMP.

Las **emulsiones recomendadas** cumplirán lo establecido en las siguientes tablas:

REQUISITOS	CLASES	
	C55B5	A55BR
Índice de ruptura (filler Forshammer) o Estabilidad por mezcla con cemento	> 170 (Clase 5)	-
Tiempo de fluencia 2 mm a 40 °C	15-70 (Clase 3)	15-70
Adhesividad con el árido de referencia	≥ 90 (Clase 3)	-
Contenido en ligante (por contenido en agua) o Ligante Residual después de destilación *	53 - 57 (Clase 5) ≥ 53 (Clase 5)	53 - 57
Residuo de tamizado – tamiz 0,5 mm	≤ 0,1 (Clase 2)	≤ 0,1
Tendencia a la sedimentación (almacenamiento durante 7 días)	≤ 10 (Clase 3)	≤ 10
* 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	CLASES SELECCIONADAS SEGÚN TABLA 4		
	(Ligante residual por destilación)	(Ligante recuperado)	(Ligante estabilizado)
Penetración a 25°C	≤ 220 (Clase 5)	≤ 220 (Clase 5)	≤ 220 (Clase 5)
Punto de reblandecimiento	≥ 39 (Clase 7)	≥ 39 (Clase 7)	≥ 39 (Clase 7)

Y para la emulsión de tipo C50BF4 IMP:

REQUISITOS	CLASES *
	C50BF4 IMP
Índice de ruptura (filler Forshammer)	110-195 (Clase 4)
Tiempo de fluencia 2 mm a 40 °C	15-70 (Clase 3)*
Adhesividad con el árido de referencia	≥ 90 (Clase 3)
Contenido en ligante (por contenido en agua) o Ligante Residual después de destilación **	48 - 52 (Clase 4) ≥ 48 (Clase 4)
Residuo de tamizado – tamiz 0,5 mm	≤ 0,1 (Clase 2)
Tendencia a la sedimentación (almacenamiento durante 7 días)	≤ 10 (Clase 3)
* Se admite Clase 2 (£ 20) 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	CLASES SELECCIONADAS SEGÚN TABLA 4		
	(Ligante residual por destilación)	(Ligante recuperado)	(Ligante estabilizado )
Penetración a 25°C	≤ 270 (Clase 6)	≤ 330 (Clase 7)*	≤ 220 (Clase 5)*
Punto de reblandecimiento	≥ 35 (Clase 8)	≥ 35 (Clase 8)*	≥ 35 (Clase 8)*
* En el caso de emulsiones fabricadas con fluidificantes más pesados, si la penetración a 25°C es > 300, se realizará la penetración a 15°C y se declarará el valor DV(Clase 1). En estos casos se admitirá un punto de reblandecimiento <35 °C (Clase 9)			

## 4.2 DOTACIÓN DEL RIEGO DE HUMEO

Se recomiendan dotaciones que pueden oscilar entre 0,5 y 1,7 Kg/m<sup>2</sup> de emulsión.

## 4.3 MAQUINARIA

La cisterna de riego a utilizar será la misma que la que aparece en la monografía de [ATEB](#) de riegos con gravilla.

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.

Se recomiendan dotaciones que pueden oscilar entre 0,5 y 1,7 Kg/m<sup>2</sup> de emulsión.



Las operaciones de aplicación del ligante plantean dos problemas que exigen la máxima atención. Son lo que se refieren a las juntas de trabajo, juntas transversales originadas por paradas de las cisternas, y juntas longitudinales que se establecen cuando la distribución se realiza por varios anchos.

## 4.4 PRECAUCIONES

La ejecución de estos tratamientos debe hacerse evitando el frío y la lluvia.

Antes de su aplicación hay que hacer un barrido ligero del soporte para eliminar posible suciedad y restos de material suelto.

## 5. TRATAMIENTO SUPERFICIAL MEDIANTE RIEGOS CON GRAVILLA

### 5.1 TIPOS DE TRATAMIENTO

Los tratamientos a emplear serán fundamentalmente cuatro: Monocapa, monocapa preengravillado, monocapa doble engravillado y bicapa y se denominarán de la siguiente manera:

RG	X	D1/d1	D2/d2	Ligante
----	---	-------	-------	---------

Donde:

**RG:** Riego con gravilla.

**X:** Tipo de riego con gravilla: Monocapa (M), Monocapa Preengravillado (MPE), Monocapa Doble Engravillado (MDE) y Bicapa (B).

**D1/d1:** Tamaño máximo del árido de la primera capa, expresado como la abertura del tamiz que deja pasar entre un 85 y un 100 por ciento del total del árido / tamaño mínimo del árido de la primera capa, expresado como la abertura del tamiz que deja pasar entre un 0 y un 15 por ciento del total del árido.

**D2/d2:** Tamaño máximo del árido de la segunda capa, expresado como la abertura del tamiz que deja pasar entre un 85 y un 100 por ciento del total del árido. / tamaño mínimo del árido de la segunda capa, expresado como la abertura del tamiz que deja pasar entre un 0 y un 15 por ciento del total del árido.

**Ligante:** Designación de la emulsión a utilizar

### 5.1.1 TRATAMIENTO MONOCAPA

Los tratamientos monocapa consisten en la aplicación de una capa de ligante sobre el soporte, seguida de una capa de árido. Este tratamiento es ideal cuando el soporte está cerrado y presenta una buena planimetría.

Si el soporte es muy heterogéneo, puede ser interesante aplicar un tratamiento monocapa preengravillado, que consiste en una primera extensión sobre dicho soporte de una gravilla más gruesa y se procede a su compactación para que se clave en el soporte y, sobre éste, aplicar el tratamiento monocapa.

### 5.1.2 TRATAMIENTO MONOCAPA DOBLE ENGRAVILLADO

Si el soporte es muy duro, se recomiendan riegos de tipo monocapa doble engravillado, en el que tras la aplicación del ligante, se realizan dos extensiones de árido, la segunda con menor tamaño que el primero, cerrando así el mosaico y proporcionando una elevada macrotextura

### 5.1.3 TRATAMIENTO BICAPA

Constituido por dos aplicaciones sucesivas de ligante y árido. A emplear cuando se esperen tráfico más elevados en los viales.

## 5.2 MATERIALES

Los materiales básicos de cualquier tratamiento superficial de riego con gravilla son la emulsión y el árido que formará el mosaico.

### 5.2.1 EMULSIÓN

La función del ligante en los TSRG es pegar las gravillas al soporte. Para ello es necesario que el ligante esté adherido a las gravillas y al soporte y que dicha adherencia se mantenga en el tiempo, bajo el efecto del tráfico y en presencia de agua. En los diferentes tipos de tratamientos superficiales de riego con gravilla recomendados en este documento, las emulsiones recomendadas, que cumplirán lo indicado en el anexo nacional de la norma UNE-EN 13808/1M, son de tipo C65B2 TRG y C69B2 TRG y tienen las siguientes características:

REQUISITOS	CLASES	
	C69B2 TRG	C65B2 TRG
Índice de ruptura ( filler Foshammer)	<110 (Clase 2)	<110 (Clase 2) <sup>a</sup>
Tiempo de fluencia 4 mm a 40 °C	40-100 (Clase 6) <sup>c</sup>	5-70 (Clase 5) <sup>b</sup>
Adhesividad con el árido de referencia	<sup>3</sup> 90 (Clase 3)	<sup>3</sup> 90 (Clase 3)
Contenido en ligante (por contenido en agua)	67 – 71 (Clase 9)	63 – 67 (Clase 7)
o ligante residual después de la destilación <sup>d</sup>	≥67 (Clase 9)	≥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)	£ 10 (Clase 3)
<sup>a</sup> En función de la climatología en el momento en que se ejecute la obra, puede emplearse clase 3 (70-155)		
<sup>b</sup> 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).		
<sup>c</sup> Se admite el empleo de emulsiones con Tiempo de fluencia Clase 5 (5-70 s a 40°C con orificio de 4 mm).		
<sup>d</sup> 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	CLASES SELECCIONADAS SEGÚN TABLA 4		
	(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)

### 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.

El ligante debe ser lo suficientemente blando como para evitar fisuraciones por asentamientos pero, lo suficientemente duro como para no fluir con temperaturas elevadas.

### 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.

## 5.2.2 ÁRIDO

Las características del árido a emplear son un aspecto decisivo en el buen comportamiento de un riego con gravilla. Las exigencias que se buscarán para estos TSRG serán las siguientes:

REQUISITO	NORMA EN	ÁRIDO
Proporción de partículas total y parcialmente trituradas [%]	933-5	$\geq 75$
Limpieza superficial [%]	933-1	$\leq 1.0$
Resistencia a la fragmentación [%]	1097-2	$\leq 30$
Índice de lajas [%]	933-3	$\leq 30$
Coefficiente de pulimento acelerado	1097-8	$\geq 40$

### Origen

Se utilizarán áridos de cantera o gravera convenientemente machacados. También se podrán utilizar áridos artificiales.

### Proporción de partículas trituradas

La angulosidad del árido afecta a la adherencia ligante árido, por lo que se recomienda utilizar áridos con una angulosidad superior al 75%.



### Limpieza

La limpieza es fundamental para asegurar una buena adherencia entre el árido y el ligante. La existencia de finos puede hacer que el ligante se adhiera a los mismos sin entrar en contacto con la gravilla que debe sujetar, produciéndose el conocido como efecto cascarilla.

Se recomienda que el valor máximo del ensayo de coeficiente de limpieza sea del 0,5%. En algunos casos se admite un valor siempre inferior al 1%.

### Resistencia a la fragmentación

La resistencia a la fragmentación del árido debe ser tal que impida la rotura de las partículas de árido bajo la acción del tráfico. Se recomienda que el valor de Desgaste Los Ángeles no sea superior al 30 %.

### Índice de lajas

La forma de las partículas se determina mediante el ensayo de índice de lajas. Este valor es importante porque las piedras lajosas, además de ser puntos débiles en la estructura del pavimento, afectan enormemente a la dosificación del árido en los riegos. Se recomienda que el índice de lajas no sea superior al 30 %.

### Resistencia al pulido. Medida mediante el Coeficiente de Pulimento Acelerado (CPA/PSV)

El CPA una característica determinante para garantizar una correcta resistencia al deslizamiento en el tiempo. Valores bajos pueden ocasionar pérdidas rápidas de la microtextura de las partículas. Se recomiendan valores superiores a 40.

### Granulometría

Se recomienda una granulometría 4/6 en el caso de los tratamientos monocapa.

Si el tratamiento es bicapa, se recomienda una gravilla 6/12 en primera capa y, una 4/6 en segunda.

Las granulometrías de cada uno de los dos cortes son las que aparecen en el siguiente cuadro:

HUSO	TAMICES UNE EN 933-2 (MM)				
	16	12.5	6.3	4	2
6/12	100	85-100	0-15	0-5	
4/6			85-100	0-15	0-5

*Granulometrías de los áridos para TSRG.*

En el caso en que se realice un preengravillado, se recomiendan los siguientes cortes:

HUSO	TAMICES UNE EN 933-2 (MM)				
	16	12.5	6.3	4	2
6/12	100	85-100	0-15	0-5	
4/6			85-100	0-15	0-5

### 5.3 FÓRMULA DE TRABAJO

La fórmula de trabajo de un TSRG consta de los siguientes **pasos**:

- **Seleccionar** el tipo de tratamiento.
- **Seleccionar** el tamaño de árido.
- **Seleccionar** el tipo de ligante.

Dosificar el ligante y árido de cada capa.

Una vez seleccionado el tipo de riego, tamaño de árido y ligante de acuerdo con las recomendaciones previamente expuestas, se realiza el ensayo de adhesividad Vialit (EN 12272-3) para evaluar la correcta adhesividad árido-ligante, que es fundamental para un buen comportamiento del tratamiento. Por muy buena que sea la calidad de los materiales constituyentes, si la adhesividad entre ambos no es buena, el comportamiento del riego no será el adecuado.

Se recomienda una adhesividad Vialit según la norma superior al 80% en seco.

#### 5.3.1 TRATAMIENTO MONOCAPA

En los tratamientos monocapa, se recomiendan áridos de granulometría 4/6. La dotación del riego será:

- Ligante Residual = 0.6-0.8 Kg/m<sup>2</sup>

- 4/6 => 4-7 l/m<sup>2</sup>

### 5.3.2 TRATAMIENTO MONOCAPA PREENGRAVILLADO

En los tratamientos monocapa preengravillados se recomiendan áridos de granulometría 6/12 y, 4/6 para rellenar el mosaico. La dotación del tratamiento será:

- Ligante Residual = 1.2 Kg/m<sup>2</sup>
- 6/12 => 4-7 l/m<sup>2</sup>
- 4/2 => 6-9 l/m<sup>2</sup>

### 5.3.3 TRATAMIENTO BICAPA

En los tratamientos bicapa se recomiendan áridos de granulometría 6/12 en primera capa y, granulometría 4/6 para rellenar el mosaico. La dotación del tratamiento será:

#### Primera capa

- Ligante Residual = 0.9-1.2 Kg/m<sup>2</sup>
- 6/12 => 7-10 l/m<sup>2</sup>

#### Segunda capa

- Ligante Residual = 0.7-0.9 Kg/m<sup>2</sup>
- 4/6 => 4-7 l/m<sup>2</sup>

Dado que el árido de la primera capa es de mayor granulometría que en el caso del riego monocapa, las dosificaciones tanto de árido como de emulsión son superiores.

Como la primera capa dejará un soporte muy rugoso, en la dosificación de la segunda capa, se recomiendan dotaciones de ligante con un rango superior al del riego monocapa.

### 5.3.4 FACTORES DE CORRECCIÓN

Además estas dosificaciones de base que toman en consideración el tamaño del árido y la distribución del ligante en los riegos multicapa, es preciso tener en cuenta cómo afectan los factores externos y cómo debe corregirse la dosificación base de ligante:

#### Tráfico

El tráfico pesado, sobre todo si es canalizado, tiende a cerrar mucho el mosaico y a hincar las gravillas al soporte. Por ello, en este caso, es conveniente reducir la dosificación. Por contra, con poco o sin tráfico pesado conviene aumentarla.

#### Soporte

Sobre soportes permeables, muy rugosos y/o envejecidos resulta conveniente aumentar la dosificación de la primera mano de ligante. Por el contrario sobre soportes sin textura y/o con exceso de ligante conviene reducir la dosificación en la primera mano de ligante

#### Climatología

En zonas frías, y/o poco soleadas habrá que aumentar la dosificación y acentuar el efecto de inversión en la distribución del ligante, esto es, por ejemplo en un bicapa, reducir ligante en primera mano y aumentar en segunda. En zonas con temperaturas altas y/o fuertemente soleadas podrá reducirse la cantidad total de ligante.

#### Época de ejecución

Si se decide regar en época fría y de cara al invierno (lo que no es en modo alguno aconsejable) puede incrementarse ligeramente la dosificación para reducir los riesgos de fallo prematuro.

Sin embargo esta solución es delicada pues puede traer consecuencias indeseables (exudaciones) durante el primer verano tras el riego.

En todos los casos, la presencia de lajas obliga a reducir la dosificación del árido, para tener en cuenta el mayor poder de cubrición.

Con árido algo sucio (nunca más de 1% de coeficiente de limpieza) resulta conveniente aumentar en torno a un 5 % la dosificación de ligante.

## 5.4. MAQUINARIA

### 5.4.1. CISTERNA DE RIEGO

La cisterna de riego a emplear será la misma que la que aparece en el punto anterior, riegos de hurneo o antipolvo.

### 5.4.2. GRAVILLADORA

La extensión del árido 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**.

### 5.4.3. COMPACTACIÓN

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

Se aconseja emplear el compactador de rodillo metálico sobre soportes granulares en los que se haga un preengravillado, una primera extensión de gravilla de mayor tamaño para que se hinque en dicho soporte.

## 5.5. PRECAUCIONES

La ejecución de estos tratamientos debe hacerse evitando el frío y la lluvia. Antes de su aplicación hay que hacer un barrido ligero del soporte para eliminar el polvo que podría interferir en el anclado del tratamiento.

Se recomienda **acopiar antes del inicio** de obra el árido a utilizar y, su caracterización, para evitar sorpresas por falta de homogeneidad de cara a la ejecución. Si la obra es de elevadas dimensiones, se recomienda acopiar y caracterizar el árido equivalente a la semana de trabajo.



Antes del inicio de los trabajos, para asegurar una correcta dosificación, es fundamental calibrar tanto, la cisterna de riego como las gravilladoras. Se debe comprobar también la altura, inclinación, apertura y solape de difusores de la cisterna de riego y, el correcto funcionamiento de apertura de las trampillas de la gravilladora.

Se debe realizar un **tramo de prueba** para evaluar la longitud del tramo a regar, el número de pasadas del compactador.

A las **24-48 horas** de ejecución se recomienda barrer para eliminar el árido sobrante.

## 6. ESTABILIZADO DE SUELOS CON EMULSIÓN BITUMINOSA

El estabilizado de suelos con emulsión bituminosa consiste en la *mezcla íntima* del suelo con emulsión bituminosa y otros aditivos (agua, etc.) y, su posterior compactado. De esta manera, además de minimizar la generación de polvo, se mejoran las propiedades del suelo existente. Este tratamiento se recomienda cuando se trata de nueva construcción.

### 6.1. MATERIALES

La utilización de emulsión como conglomerante minimiza más que otros conglomerantes la generación de polvo

En el estabilizado de suelos con emulsión bituminosa, los materiales a utilizar son la emulsión y el suelo existente.

#### 6.1.1. EMULSIÓN

La emulsión a emplear en el estabilizado de suelos es de rotura lenta para asegurar que envuelve todo el árido.

Las emulsiones recomendadas, que cumplirán lo indicado en el anexo nacional de la norma UNE-EN 13808/1M, son de tipo C60B5 GE y tienen las siguientes características:

REQUISITOS	CLASES
	C60B5 GE
Índice de ruptura (filler Forshammer) o Estabilidad por mezcla con cemento	> 170 (Clase 5)
Tiempo de fluencia 2 mm a 40 °C	15-70 (Clase 3)
Adhesividad con el árido de referencia	≥ 90 (Clase 3)
Contenido en ligante (por contenido en agua) o Ligante Residual después de destilación *	58 - 62 (Clase 6) ≥ 58 (Clase 6)
Residuo de tamizado – tamiz 0,5 mm	≤ 0,1 (Clase 2)
Tendencia a la sedimentación (almacenamiento durante 7 días)	≤ 10 (Clase 3)
* 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	CLASES SELECCIONADAS SEGÚN TABLA 4		
	(Ligante residual por destilación)	(Ligante recuperado)	(ligante estabilizado)
Penetración a 25°C	£ 220 (Clase 5)	£ 220 (Clase 5)	£ 220 (Clase 5)
Punto de reblandecimiento	<sup>3</sup> 39 (Clase 7)	<sup>3</sup> 39 (Clase 7)	≥ 39 (clase 7)

### 6.1.2. SUELO

Las características del suelo a tratar juegan un papel fundamental en el buen comportamiento del estabilizado. Los requisitos que debe cumplir dicho suelo son:

#### Plasticidad

La plasticidad da una idea del contenido en arcillas del suelo a tratar. Para un correcto comportamiento se recomienda un límite líquido inferior a treinta y cinco ( $LL < 35$ ) e Índice de Plasticidad inferior a quince ( $IP < 15$ ).

En el caso en que sea necesario, puede contemplarse la posibilidad de aporte de material para que la estructura sea funcional.

## 6.2. FÓRMULA DE TRABAJO

La fórmula de trabajo de un estabilizado con emulsión consta de los siguientes pasos:

- **Caracterización** del material a estabilizar
- **Establecer** la humedad óptima de compactación
- **Establecer** el contenido óptimo de ligante

La humedad óptima de compactación se determinará mediante el ensayo Próctor modificado (UNE 103501).

El contenido óptimo de ligante se establecerá mediante el ensayo de inmersión-compresión según la NLT-162.

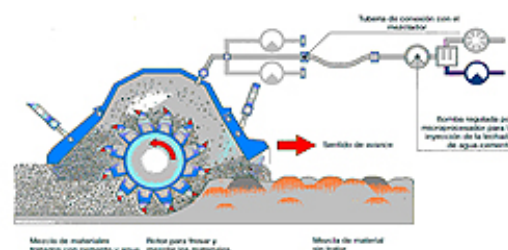


## 6.3. MAQUINARIA

La maquinaria a emplear consta de una recicladora / estabilizadora, compactadores y en algunos casos, motoniveladora.

### 6.3.1. RECICLADORA/ ESTABILIZADORA

Los equipos modernos de mezclado in situ disponen todos de un mezclador situado en la parte central de la máquina, dotado de cámara de mezclado y rotor. La cámara de mezclado puede tener barras de impacto en su zona delantera (en el sentido del avance), para reducción de **partículas gruesas**, una o dos compuertas de apertura regulable, así como un sistema de difusores para la distribución de agua, emulsión o aditivos.



El sentido de giro del rotor es contrario al sentido del giro de las ruedas motrices, de esta manera, permite una mayor finura de disgregación y homogeneidad de la mezcla. La velocidad de giro del rotor y la velocidad de los extremos de los útiles condicionan el rendimiento. Estos equipos incorporan varias velocidades, que se seleccionan desde la cabina en función de la resistencia del material a tratar y/o de la cantidad de emulsión, agua o aditivos a aportar.

El ancho del rotor determina el ancho de trabajo, y su diámetro, con y sin los útiles de disgregación y mezcla, determinará la **profundidad máxima de trabajo**, que en los equipos modernos varía entre 35 y 50 cm aunque limitado por la capacidad de compactación.



Los elementos de desgaste del rotor son las picas, portapicas, brazos y bases, siendo necesario su cambio en función de la abrasividad y granulometría del suelo.

Las características del sistema de dosificación de aditivos líquidos consiste en un sistema de bombeo que envía el líquido a una barra con difusores situada en la cámara de mezcla.

Se recomiendan equipos que puedan **controlar la apertura y cierre de cada inyector** de manera individual para la ejecución de los solapes en bandas, así se ajusta el ancho del tratamiento simplemente cerrando los difusores que no sean necesarios y se disminuyen las pérdidas por solape y la sobredosificación en estas zonas.

### 6.3.2. TREN DE COMPACTACIÓN

La combinación idónea se define en un tramo de prueba en función de las características del material a estabilizar, espesor, humedad, etc...

## 6.4. PRECAUCIONES

La ejecución de estos tratamientos debe hacerse evitando el frío y la lluvia.

Es fundamental caracterizar correctamente el suelo a tratar y, en el caso que sea necesario, tramificar y realizar distintas fórmulas de trabajo en función de las características de los materiales de partida.

Es importante, de cara a obtener un **reparto homogéneo** del ligante, que el material a tratar tenga el contenido óptimo de agua.

En caso de suelos cohesivos, es necesario desmenuzar previamente los terrones que puedan existir.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Monografía de ATEB de Riegos con Gravilla.

<http://www.aragoninvestiga.org/las-energias-renovables-como-opcion-para-frenar-el-cambio-climatico/>

<http://www.greenpeace.org/espana/es/Trabajamos-en/Frenar-el-cambio-climatico/>

<http://www.ecointeligencia.com/2015/12/energias-renovables-cambio-climatico/>

<https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/ciudadania/energia-solar>

II Máster Energía Solar y Renovables. Universidad Miguel Hernández

UNEF. Unión española Fotovoltaica

<http://www.dforcesolar.com/energia-solar/energia-solar-pasiva/>



ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS

[www.ateb.es](http://www.ateb.es) | [gerencia@ateb.es](mailto:gerencia@ateb.es)