



# RIEGOS CON GRAVILLA

ASOCIACION TECNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS  
(ATEB)



Coordinado por :

Alberto Bardesi  
Ramón Tomás

**ATEB**

---

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.
2. COMPONENTES.
  - 2.1. Áridos.
  - 2.2. Ligantes.
  - 2.3. Árido-ligante.
3. FORMULACIÓN DE LOS TSRG.
  - 3.1. Elección del tipo de tratamiento.
  - 3.2. Selección del tamaño de árido.
  - 3.3. Selección del tipo de ligante.
  - 3.4. Dosificación del árido de cada capa.
  - 3.5. Dosificación del ligante de cada capa.
4. MAQUINARIA.
  - 4.1. Cisterna de riego.
  - 4.2. Repartidoras de gravilla.
5. EJECUCIÓN DE LOS TSRG.
  - 5.1. Precauciones antes de la ejecución.
  - 5.2. Precauciones durante la ejecución.
  - 5.3. Precauciones tras la ejecución.

# RIEGOS CON GRAVILLA

## 1 INTRODUCCIÓN.

---

Los tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla (TSRG) tienen el honor de ser la primera técnica de pavimentación asfáltica. Este puesto de liderazgo viene dado tanto por lo que hace a su antigüedad como a la superficie pavimentada anualmente en el mundo. Tal y como se define en el Pliego General un TSRG consiste en aplicar una o varias capas de un ligante hidrocarbonado sobre una superficie complementada por una o varias extensiones de áridos. Este sistema operativo se ha mantenido inalterable desde su origen en el siglo XIX, aunque se han introducido interesantes variantes en cuanto a los tipos de TSRG y además la técnica ha experimentado notables evoluciones, fundamentalmente en la mejora de los ligantes empleados y en la automatización de los equipos de puesta en obra y muy especialmente en las cisternas regadoras.

Las razones fundamentales de la vigencia de esta técnica es que, con un coste unitario muy bajo, los TSRG aportan al firme tratado una buena protección y estanqueidad frente a las acciones del tráfico y la climatología, a la vez que aseguran textura superficial suficiente para garantizar la resistencia al deslizamiento. Así pues, al considerar las posibilidades que ofrecen las distintas técnicas para capa de rodadura tenemos que tener en cuenta que los TSRG nos ofrecen:

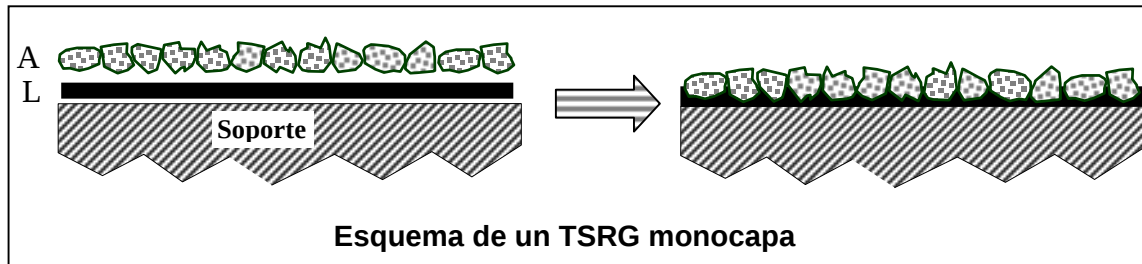
- **Seguridad**, porque nos aportan un nivel de macrotextura, regulable en función del tamaño de los áridos empleados, que no alcanza ninguna otra técnica.
- **Protección del firme tratado**, porque el TSRG garantiza la impermeabilidad y, por tanto, permite optimizar la capacidad soporte de las capas inferiores.

- **Flexibilidad de empleo** suficiente para poder ser aplicado sobre casi todo tipo de firmes.
- **Versatilidad**, pudiendo elegir entre diferentes tipos en función de las necesidades de la carretera.
- **Rapidez de ejecución**, pudiéndose alcanzar grandes rendimientos si se dispone de medios adecuados.
- **Economía. Ninguna otra técnica de pavimentación, quizá con la sola excepción de las lechadas puede ejecutarse con los costes por metro cuadrado de los TSRG.**

Naturalmente los TSRG tienen también sus limitaciones, como cualquier otra técnica. Probablemente los aspectos menos positivos de los TSRG sean:

- **Capacidad portante.** Por su propia concepción, los TSRG no pueden aportar una capacidad portante significativa al firme
- **Sensibilidad** a la climatología, especialmente en los primeros meses tras la ejecución.
- **Sonoridad.** Por su fuerte macrotextura los TSRG son claramente más sonoros que otras técnicas como las mezclas bituminosas. Esta característica puede ser aprovechada positivamente en algunas ocasiones, en particular cuando hay problemas de seguridad vial.

Con todo ello, los TSRG se configuran como la técnica de pavimentación más extendida en la mayoría de los países desarrollados: del orden de los 500 Mm<sup>2</sup> en EE.UU., 350 Mm<sup>2</sup> en Francia. En España, se llegaron a alcanzar cifras superiores a los 90 Mm<sup>2</sup> en los años 91 y 92, aunque en los últimos la cifra se ha reducido ligeramente. Así en 2003 se realizaron unos 65 Mm<sup>2</sup> en nuestro país.



A pesar de su veteranía y de su empleo extensivo, es relativamente frecuente observar que los TSRG no se diseñan y se ejecutan de la mejor manera posible, lo que es fundamental para asegurar un buen comportamiento. Para poder alcanzar los objetivos deseados, han de cuidarse todos los parámetros que influyen en el éxito de su comportamiento. Así es preciso:

- Emplearlos cuando realmente sean la mejor solución y ejecutarlos en la época más adecuada.
- Elegir correctamente el tipo de TSRG: monocapa preengravillado, bicapa, ...
- Seleccionar correctamente los materiales a emplear: áridos y emulsiones.
- Utilizar la maquinaria adecuada: cisternas, compactadores, repartidores de gravilla, ...
- Disponer de un equipo humano experimentado.
- Preparar la superficie adecuadamente: limpieza, regularidad, ...y ejecutar el TSRG de acuerdo a las reglas de buena práctica incluyendo las correspondientes a la apertura al tráfico.

Todo ello, con el objetivo final de formar un mosaico de gravillas bien trabado en el que cada partícula esté bien sujeta de forma que no pueda desprenderse ante las acciones del tráfico. En esta sujeción colabora tanto el ligante como el rozamiento lateral con las partículas que la rodean.

## 2 COMPONENTES.

### 2.1.- Áridos

Las características del árido son uno de los aspectos decisivos en el éxito de un TSRG, no sólo porque las prestaciones de un TSRG y la durabilidad de éstos estén estrechamente ligadas a su tamaño y propiedades, sino porque el árido debe ser capaz de soportar las tensiones a que se ve sometido durante la propia eyección del riego. Con frecuencia se comete el error de seleccionar el árido teniendo en cuenta exclusivamente factores económicos a corto plazo (ejecución) sin tener en cuenta su decisiva influencia en el éxito de la propia ejecución y en el resultado a largo plazo del tratamiento. Para evitar este error es preciso conocer que propiedades debe reunir el árido y cómo se relacionan éstas con las propias prestaciones del riego.

A continuación se repasan las principales características y se recomiendan algunos límites. Habitualmente estos límites suelen relacionarse con la “responsabilidad” del riego medida en función de la categoría de tráfico pesado que deban soportar, estableciéndose dos niveles, el correspondiente a tráficos T3 y el de los tráficos T4 y arcenes. Es claro que pueden imaginarse casos en los que el tráfico pesado no deba ser el único elemento a tener en cuenta. Posiblemente el tráfico total, el trazado y la climatología son factores de riesgo tan importantes como el número de vehículos pesados para condicionar la durabilidad del TSRG, pero por su simplicidad mantendremos esta separación en dos niveles en la idea de que el

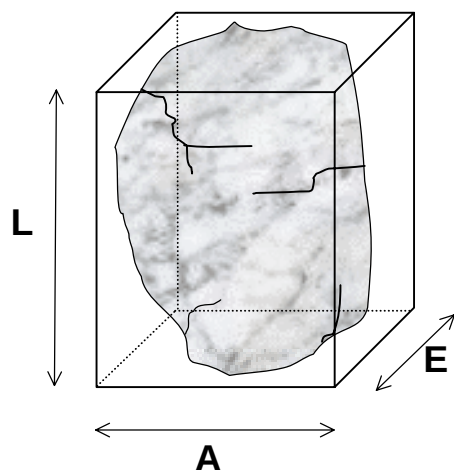
Proyectista o el Director de las Obras tendrán en cuenta estos otros condicionantes para dar el salto al nivel más exigentes cuando sea preciso. Asimismo, en condiciones excepcionales podría ser necesario establecer límites aún más estrictos como, por ejemplo, aumentar el límite del CPA hasta 0,50 ó 0,55 en tramos con muy fuerte IMD donde se haya decidido emplear un riego por razón de su fuerte sonoridad.

- **Origen.** Con la excepción de algunas aplicaciones especiales (zonas de deceleración, puntos negros,...) en los que se pueden utilizar áridos artificiales elaborados por transformación térmica, normalmente se emplearán áridos de origen natural (canteras o yacimientos aluvionarios) convenientemente machacados y clasificados.
- **Limpieza.** Es necesaria para garantizar una buena adherencia del árido con el ligante hidrocarbonado. La presencia de finos rodeando el árido grueso puede impedir el correcto contacto con el ligante, más aún si estos finos tuvieran un carácter arcilloso por los riesgos ulteriores de hinchamiento en presencia de agua. La limpieza se valora mediante el ensayo de Coeficiente de Limpieza que determina, por vía húmeda empleando el tamiz de 0,5 mm, el porcentaje en peso de los elementos finos adheridos a las partículas de cada fracción de árido. Se recomienda un valor máximo del 0,5% para tráfico T3 o superior y del 1,0% para T4 y arcenes.
- **Resistencia a la fragmentación.** Coloquialmente denominada dureza y determinada mediante el ensayo de Desgaste de Los Ángeles, debe ser tal que impida la rotura de las partículas bajo los efectos del apisonado y del tráfico, ya que ello modificaría la estructura del mosaico, disminuyendo las dimensiones medias de los áridos y favoreciendo así las pérdidas de partículas, las exudaciones de ligante y la pérdida de textura superficial. Los Valores máximos admitidos habitualmente son del 25 %

para tráfico T3 o superior, y del 30 % para T4 y arcenes.

- **Resistencia al pulido.** Medida mediante el Coeficiente de Pulimento Acelerado (CPA), es 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 mínimos de 0,45 para tráfico T3 o superior, de 0,40% para T4 y arcenes.
- **Angulosidad.** Debe vigilarse únicamente en los áridos procedentes de machaqueo de grava natural determinando el porcentaje de partículas con dos o más caras de fractura. La angulosidad influye en numerosos factores: resistencia al deslizamiento, sonoridad, adhesividad al ligante,... En ningún caso deben emplearse áridos con una visible presencia de partículas redondeadas. Se recomiendan valores mínimos del 90% para T3 o superior y del 75% para T4 y arcenes.
- **Forma.** Aunque la angulosidad también es una propiedad relacionada con la forma, habitualmente se emplea el término forma para definir la relación entre las dimensiones de las partículas. Esta característica depende tanto de la naturaleza intrínseca del árido como del sistema mecánico de trituración utilizado. Nos interesará siempre que las partículas sean lo más cúbicas posible. Partículas no cúbicas son las lajas (relación:  $A/E > 5/3$ ) y las agujas (relación  $L/A > 9/5$ ). Las gravillas, por lógica de equilibrio, tras el apisonado del riego van a quedar apoyadas en su cara de mayor superficie, lo que supone que el espesor de capa estará ligado al valor de E, mientras que las dosificaciones calculadas de árido y de ligante están basadas en su tamaño medio A nominal. La presencia de lajas, es decir de áridos aplastados, provocará errores de sobredosificación y las consiguientes pérdidas de árido y aumento el riesgo de exudaciones.

Además las lajas y agujas se fracturan con mayor facilidad al paso de los compactadores y/o del tráfico. La cubrición del árido se controla mediante el ensayo de Índice de Lajas y se recomiendan valores máximos del 25% para T3 o superior y del 30% para T4 y arcenes.



- **Adhesividad árido-ligante.** Es una característica esencial que depende también del tipo de ligante. Se trata de forma específica en el apartado 3º de este capítulo.
- **Granulometría.** Es un factor decisivo tanto a efectos de la dosificación como de las características finales y de la durabilidad del riego. Para obtener un buen mosaico, en los TSRG deben emplearse áridos de granulometría uniforme, centrada y bien cortados. Áridos con mala granulometría desvirtúan las dosificaciones y producen efectos similares a las lajas. Para evitar estos problemas es necesario que para un

árido de dimensiones nominales máxima “D” y mínima “d”:

- o **Granulometría uniforme.** La relación D/d sea inferior a 2 y, mejor aún, inferior a 1,6. Además, cuando más gruesa sea la fracción, menor debe ser la relación D/d. Con las series de tamices definidas en la normativa europea (empleando serie básica y completaría 2) las fracciones granulométricas posibles serían los husos 4/2; 6/3 ; 6/4 ; 8/4; 10/6 ; 12/6 ; 12/8 ; 16/8 ; 16/10 ; 20/12 .
- o **Granulometría centrada.** El cernido por el tamiz  $(D+d)/2$ , intermedio del huso, debe estar preferentemente comprendido entre el 33 y el 66%.
- o **Granulometría bien cortada.** Las “cabezas” (material retenido por el tamiz D) y las “colas” (material cernido por el tamiz d) deben ser lo menores posibles. Para ello hay que limitar tanto el porcentaje de los retenidos y cernidos por D y d respectivamente, como los de los tamices inmediatamente anteriores y posteriores a D y d respectivamente.

Las condiciones de cada obra harán que los requerimientos a la granulometría de los áridos deban ser mayores o menores. Para dar respuesta a esto parece conveniente emplear dos series, normal (A·D/d) y especial (AE·D/d), de husos de áridos para TSRG que se emplearían en función de dichos requerimientos.

Tabla 1.- Granulometrías normales.

| Tipo de huso | Tamaño de los Tamices UNE-EN 933-2 (mm) |        |        |        |        |        |        |      |     |
|--------------|-----------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|-----|
|              | 25                                      | 20     | 16     | 12,5   | 8      | 6,3    | 4      | 2    | 1   |
| A 20/12      | 100                                     | 85-100 |        | 0-15   | 0-8    | 0-5    |        |      |     |
| A 16/8       |                                         | 100    | 85-100 |        | 0-15   | 0-8    | 0-5    |      |     |
| A 12/6       |                                         |        | 100    | 85-100 |        | 0-15   | 0-5    |      |     |
| A 8/4        |                                         |        |        | 100    | 85-100 |        | 0-15   | 0-5  |     |
| A 6/4        |                                         |        |        |        | 100    | 85-100 | 0-15   | 0-5  |     |
| A 4/2        |                                         |        |        |        |        | 100    | 85-100 | 0-15 | 0-8 |

Tabla 1-bis.- Granulometrías especiales.

| Tipo de huso | Tamaño de los Tamices UNE-EN 933-2 (mm) |        |        |        |        |        |        |      |     |
|--------------|-----------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|-----|
|              | 25                                      | 20     | 16     | 12,5   | 8      | 6,3    | 4      | 2    | 1   |
| AE 20/12     | 100                                     | 90-100 | 30-70  | 0-10   | 0-5    | 0-2    |        |      |     |
| AE 16/8      |                                         | 100    | 90-100 | 30-70  | 0-10   | 0-5    | 0-2    |      |     |
| AE 12/6      |                                         |        | 100    | 90-100 | 30-70  | 0-10   | 0-5    |      |     |
| AE 8/4       |                                         |        |        | 100    | 90-100 | 30-70  | 0-10   | 0-2  |     |
| AE 6/4       |                                         |        |        |        | 100    | 90-100 | 0-10   | 0-2  |     |
| AE 4/2       |                                         |        |        |        |        | 100    | 90-100 | 0-10 | 0-5 |

## 2.2 Ligantes.

La misión básica de los ligantes en los TSRG es asegurar el pegado de las gravillas al soporte. Para ello es necesario que el ligante esté suficientemente adherido a las propias gravillas y al soporte (adhesividad activa), que esta adherencia sea duradera incluso en presencia de agua (adhesividad pasiva) y que el propio ligante tenga suficiente resistencia interna para no romper frente a los esfuerzos del tráfico (cohesión).

Los ligantes más usados tradicionalmente en los TSRG han sido los betunes asfálticos blandos (B-150/200 en España), los betunes fluidificados (RC-4 en la denominación del antiguo PG-3/75) y las emulsiones bituminosas (ECR-2 es el tipo más empleado). Además, desde mediados de los años '80 el desarrollo de los ligantes modificados se ha dejado sentir también en la técnica de los TSRG de tal forma que en la actualidad el empleo de emulsiones catiónicas (ECR-2m y ECR-3m) está muy extendido y también, aunque con carácter excepcional, los betunes modificados blandos (BM-5). Existen otros tipos de ligantes posibles como las emulsiones aniónicas de alta flotación (empleadas en EE.UU.), los betunes fluxados (empleados en Francia) o, incluso, la espuma de betún etc, de los que no existen suficientes experiencias contrastadas en nuestro país.

La eliminación de los betunes fluidificados de nuestro Pliego General por importantes razones económicas, medio-ambientales y de seguridad, unida a la dificultad del empleo

de los ligantes anhidros en los TSRG hace que en la actualidad más de un 95% de los TSRG realizados en España utilizan la emulsión bituminosa como ligante.



Las principales ventajas que tienen las emulsiones sobre los ligantes anhidros (betunes y betunes modificados) son:

- El periodo de empleo a lo largo del año es mucho más amplio ya que pueden emplearse incluso en condiciones de relativo frío y humedad.
- Se aplican en frío o con un ligero calentamiento, lo que supone ahorro y menores riesgos ambientales y de seguridad.
- Son más flexibles en la ejecución ya que ofrecen más margen de tiempo, sin perder eficacia, entre la aplicación del ligante y el árido.
- Su baja viscosidad inicial permite un fácil mojado del árido y por tanto un mejor contacto del ligante.

- Los tensoactivos empleados en la fabricación de la emulsión favorecen, de forma sensible, la adhesividad del betún residual a los áridos, inclusive cuando estos mantienen un moderado contenido en humedad.
- Podemos diseñar la emulsión a emplear, regulando su velocidad de rotura, su concentración y viscosidad, para optimizar su comportamiento en función del tamaño de los áridos, la geometría de la carretera, la época de empleo,...
- Los riesgos de sobre/subdosificación son menores (dada su menor concentración) que con los ligantes anhidros.

Por el contrario, las emulsiones de betún, sean normales o modificadas, no ofrecen la misma rapidez que los ligantes puros a la hora de alcanzar su cohesión final y, por tanto, tardan más en estabilizar el tratamiento, por lo que para aperturas muy rápidas al tráfico podría recomendarse su utilización en algún caso.

Por su parte, el empleo de ligantes modificados se recomienda, prioritariamente, para los tráficos más pesados pero, sobre todo, en las zonas de esfuerzos tangenciales elevados (zonas muy viradas o con fuertes rampas) para aprovechar su mayor cohesión, y donde concurren altos gradientes térmicos (altas temperaturas en verano y bajas en invierno) para aprovechar también su menor susceptibilidad térmica.

Finalmente es preciso señalar que entre todas las emulsiones disponibles son las de los tipos ECR-2 y ECR-3, y sus homólogas modificadas, las más adecuadas por su viscosidad y velocidad de rotura. Las emulsiones del tipo ECR-1 que se ha venido utilizando años atrás deben desecharse para esta técnica. Tampoco las emulsiones aniónicas resultan, salvo excepciones muy concretas, competitivas con sus correspondientes catiónicas.

Las características de las emulsiones más adecuadas a los TSRG se especifican en la tabla 2. Con estas características se trata de garantizar aspectos esenciales como :

- **Almacenabilidad.** Son fundamentales un tamaño de partícula medio y una distribución granulométrica adecuados, así como la ausencia de porciones de ligante mal emulsificados. Esto queda controlado con los ensayos de sedimentación y tamizado.
- **Manejabilidad.** Definida por la viscosidad, en la que a su vez influye el % de betún y fluidificante, así como el tamaño y forma de las partículas. Una viscosidad muy elevada impide una fácil aplicación en frío; por el contrario si es muy baja es complicado conseguir una dosificación homogénea por el escurrimiento, especialmente en las zonas con pendientes fuertes.
- **Calidad del ligante residual.** Definida por la adecuación de la dureza del mismo, (penetración) en relación con la climatología de la zona, tráfico, etc, así como su resistencia a reblandecerse, romper y recuperar (punto de reblandecimiento, ductilidad, retorno elástico). Dentro de las emulsiones cada vez son más utilizadas las que se modifican con polímeros a la vista de que su diferencial de coste frente a las normales está más que compensado con las ventajas adicionales que ofrecen: mayor cohesión, mejor comportamiento frente a temperaturas extremas de servicio, capacidad de recuperación elástica,...

Tabla 2.- Especificaciones de emulsiones bituminosas para riegos con gravillas.

| Características                | Ud.    | NLT | ECR-2                        |      | ECR-3    |      | ECR-2m                       |      | ECR-3m   |      |
|--------------------------------|--------|-----|------------------------------|------|----------|------|------------------------------|------|----------|------|
| Emulsión                       |        |     | min                          | máx  | min      | máx  | min                          | máx  | min      | máx  |
| Viscosidad S.F. a 50°C         | s      | 138 | 20                           |      | 40       |      | 20                           |      | 40       |      |
| Carga de partículas            |        | 194 | positiva                     |      | positiva |      | positiva                     |      | positiva |      |
| Contenido de agua (en vol.)    | %      | 137 |                              | 37   |          | 32   |                              | 37   |          | 32   |
| Betún asfáltico residual       | %      | 139 | 63                           |      | 67       |      | 63                           |      | 67       |      |
| Fluidific.por desti. (en vol.) | %      | 139 |                              | 5    |          | 2    |                              | 5    |          | 2    |
| Sedimentación (a 7 días)       | %      | 140 |                              | 5    |          | 5    |                              | 5    |          | 5    |
| Tamizado                       | %      | 142 |                              | 0.10 |          | 0.10 |                              | 0.10 |          | 0.10 |
| <b>Residuo por</b>             |        |     | <b>Destilación (NLT 139)</b> |      |          |      | <b>Evaporación (NLT-147)</b> |      |          |      |
| Penetración a 25°C             | 0,1 mm | 124 | 130                          | 200  | 130      | 200  | 120                          | 200  | 120      | 200  |
|                                |        |     | *60                          | *100 | *60      | *100 | *50                          | *90  | *50      | *90  |
| Ductilidad                     | 5°C    | cm  | 126                          |      | 40       |      | 10                           |      | 10       |      |
|                                | 25°C   |     |                              |      |          |      |                              |      |          |      |
| Solubilidad en tolueno         | %      | 130 |                              |      |          |      |                              |      |          |      |
| Pt°. Reblandecimiento AyB      | °C     | 125 |                              |      |          |      | 45                           |      | 45       |      |
|                                |        |     |                              |      |          |      | *55                          |      | *55      |      |
| Recup.elástica torsión(25°C)   | %      | 329 |                              |      |          |      | 12                           |      | 12       |      |

(\*) Estas emulsiones con residuos más duros se denominan con el tipo correspondiente, seguido de la letra d.

### 2.3 Arido-ligante.

Además del análisis de los componentes del riego, no se debe olvidar que una parte fundamental del éxito del TSRG reside en que ambos, áridos y ligante, sean perfectamente compatibles. Para conseguirlo, es preciso que el ligante que utilizemos tenga una gran facilidad de mojado de la superficie del árido, incluso en presencia de agua, y que la resistencia que esta unión inicial tenga se mantenga en el tiempo frente a los factores externos: agua, hielo, tráfico, ... En resumen, es necesario garantizar una adhesividad activa y pasiva suficientes a cada caso.

Del lado del árido, además de su propia naturaleza físico-química, la adhesividad puede estar perjudicada por dos aspectos: suciedad y humedad. La presencia de finos,

especialmente si son arcillosos, adheridos a las gravillas constituye una barrera a la adherencia del ligante y es una de las causas más habituales de fracasos de los TSRG. La presencia de agua en las gravillas no suele ser un problema grave excepto cuando se supera el grado de saturación ya que el exceso de agua dificulta, e incluso impide en el caso de los ligantes anhidros, la adherencia del ligante y, además, retrasa innecesariamente la rotura y maduración de la emulsión. En cuanto a la naturaleza físico de la gravilla es preciso tener en cuenta que áridos con todas sus caras fracturadas, microcristalinos y con cierta porosidad presentan mejor comportamiento que aquéllos con caras redondeadas, cristales de gran tamaño y muy baja porosidad. La naturaleza química debe también tenerse en cuenta para adecuar la formulación de la emulsión, especialmente la acidez.

Excepcionalmente, en los casos de evidente mala compatibilidad físico-química, para garantizar una buena adhesividad entre componentes, se pueden utilizar activantes. Estos productos pueden emplearse incorporados al ligante, que es lo más normal, pero también sobre la superficie del árido o bien en la interfase, es decir, sobre la superficie del ligante una vez extendido éste y antes de que se realice la puesta en obra del árido. Este procedimiento sólo suele emplearse en TSRG que se hagan sobre carreteras de muy elevado IMD y cuando se empleen ligantes que no se apliquen en forma de emulsión.

Para la comprobación de la adhesividad se realiza el ensayo de inmersión en agua, exigiéndose normalmente una superficie cubierta después de inmersión superior al 95%, y el ensayo de Placa Vialit, exigiéndose normalmente un porcentaje de árido no desprendido superior al 90% por vía húmeda y al 80% por vía seca

### 3 FORMULACIÓN DE LOS TSRG.

---

Formular un TSRG supone definir la dosificación y tipo de ligante y árido de cada capa. El proceso de definición de la fórmula de trabajo de un TSRG consta básicamente de cinco fases:

- Selección del tipo de tratamiento
- Selección del tamaño(s) de árido(s)
- Selección del tipo de ligante
- Dosificación del árido de cada capa
- Dosificación de ligante de cada capa

Además de los objetivos concretos que busquemos en cada caso con el TSRG, tendremos que tener en cuenta los condicionantes externos, entre los que tendremos:

- Tráfico

- Características del soporte:
  - o Tipo de material
  - o Homogeneidad
  - o Permeabilidad
  - o Rugosidad
  - o Regularidad geométrica
  - o Presencia de ligante exudado
- Trazado
- Climatología:
  - o Temperaturas máximas y mínimas
  - o Pluviometría
  - o Soleamiento
  - o Posibilidad de nieves y/o heladas
- Época de ejecución

Por último es preciso señalar un aspecto destacable en relación con la formulación y es que, tal como ocurre en otras técnicas, la fórmula definitiva no se obtiene hasta que se realiza un tramo de prueba en obra. Así pues, tendremos una dosificación de proyecto, base para el cálculo de mediciones de proyecto, y una dosificación de referencia obtenida por cálculo a partir de la granulometría que se comprueba y corrige, en su caso, en el tramo de prueba y que sirve de base para la ejecución y el control de calidad en obra.

#### 3.1 Elección del tipo de tratamiento.

Los tratamientos **monocapa**, consistentes en la aplicación de una capa de ligante seguida de otro árido, son los más sencillos que se pueden aplicar pero requieren buenas condiciones de homogeneidad y de regularidad del soporte, por lo que su empleo está ligado a políticas de conservación preventiva de firmes muy bien planificadas en las que se actúa antes de que los problemas se pongan de manifiesto visualmente. Se evitará su empleo sobre soportes heterogéneos, ricos en ligante o exudados, en trazados sinuosos y/o con fuertes pendientes y también sobre bases compuestas por materiales no tratados (suelos o zahorras) o sobre soportes porosos excepto cuando el objetivo sea impermeabilizar (p.e. riegos de sellado de mezclas abiertas en frío).

Una variante interesante del riego monocapa que permite mejorar la textura y mejorar la formación del mosaico es el **monocapa doble engravillado** en el que tras la aplicación del ligante se realizan sucesivamente dos extensiones de árido, la Segunda con un árido de menor tamaño al primero. Están especialmente indicados sobre soportes duros y proporcionan una rugosidad muy alta. Sin embargo, estos TSRG son de los más críticos en lo que se refiere a su ejecución.



El riego **bicapa** está constituido por dos aplicaciones sucesivas de ligante y árido, esto es dos monocapas consecutivas. Puede considerarse el tipo de referencia porque se adapta a la mayoría de las situaciones, es poco crítico en su ejecución, y ofrece una relación coste/calidad/durabilidad muy ajustada. Únicamente en situaciones de soportes exudados o soportes muy heterogéneos puede resultar conveniente su sustitución por un monocapa preengravillado. También sobre soportes granulares, habiendo tráfico de pesados, puede ser conveniente pensar en el empleo de un bicapa preengravillado o, excepcionalmente, en un tricapa.

Los tratamientos **monocapa preengravillado** (también llamados comúnmente riego sandwich) estructuralmente están formados por una capa ligante entre dos áridos; su ejecución se realiza extendiendo una primera capa del árido grueso, seguido de la extensión de ligante para terminar con una nueva capa del árido más fino. Tienen su origen en la técnica de los riegos bicapa inversos en los que, en determinadas situaciones como soportes

exudados o heterogéneos, se optimiza la dotación de ligante del bicapa disminuyéndola en la primera aplicación y aumentándola en la segunda. Los monocapa preengravillados representan el límite de los bicapa inversos estando especialmente indicados sobre soportes heterogéneos y/o con exceso de ligante y siendo, por ello y por su menor coste, muy empleados en operaciones de conservación en vías de baja intensidad de tráfico.

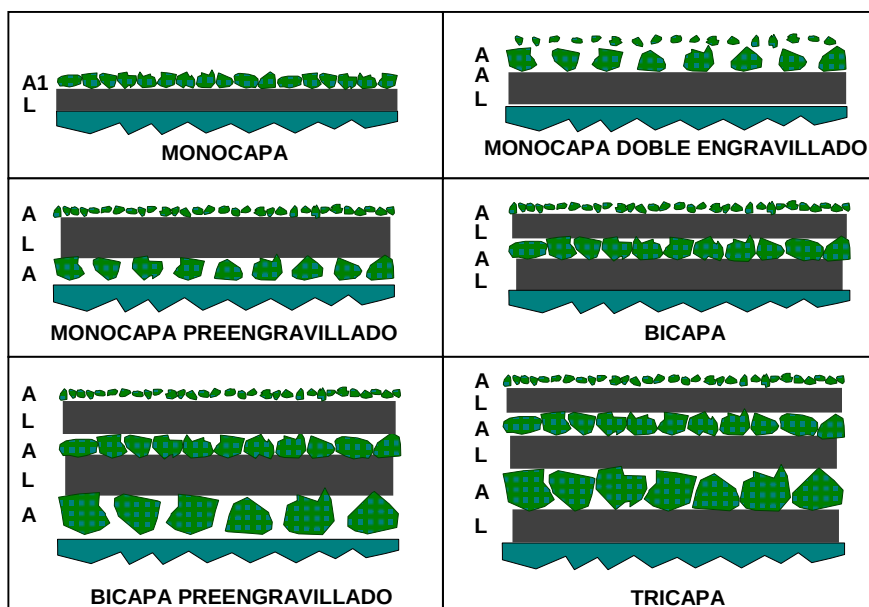
El **bicapa preengravillado** (o doble sandwich), formado por una extensión de árido seguida de un bicapa, se aplica preferentemente en los firmes más deformados o con exudaciones de ligante. Pero quizá su campo de aplicación más interesante y para el que están especialmente indicados es el de los riegos sobre soportes granulares sobre todo en los casos, muy habituales, de que este soporte sea muy cerrado y difícilmente imprimable.

Por último, los riegos **tricapa**, constituidos por la aplicación sucesiva de tres manos de ligante y tres extensiones de árido, deberían quedar restringidos a casos muy excepcionales ya que por su coste compiten con otras técnicas que podrían ser más adecuadas.

### 3.2 Selección del tamaño de árido.

La elección de los tamaños de los áridos a utilizar en cada capa dependerá de las características que se desee obtener en el mosaico final. Así, la **rugosidad** será mayor a medida que utilicemos tamaños más gruesos o que la discontinuidad, entre los tamaños de áridos empleados en los tratamientos que llevan al menos dos capas, sea mayor. En paralelo a la rugosidad irán la **drenabilidad superficial** o la producción de **ruido**.

En general, el estado del soporte y el tipo e intensidad de tráfico son los factores que más influyen en el tipo de tratamiento a realizar y también en los tamaños de áridos a utilizar: sobre soporte heterogéneo, soporte exudado y mayor tráfico la tendencia es a utilizar áridos más gruesos.



Otro aspecto fundamental en la elección de los tamaños de árido es la necesidad de que las granulometrías de capas sucesivas no se solapen para conseguir la formación de un mosaico bien trabado y cerrado.

Con estas consideraciones, tomando como referencia las granulometrías planteadas en la tabla 1 y, aunque caben otras combinaciones, las estructuras de riego más recomendables, serían (ver tabla 4) :

En los TSRG bicapa y monocapa preengravillado, que son de lejos los más empleados, si se desea forzar la rugosidad y sonoridad, por ejemplo en tramos potencialmente peligrosos, se emplearán las combinaciones con granulometría más gruesa en la primera capa. Asimismo en los tricapa y bicapa preengravillados, en las combinaciones con áridos menores es factible sustituir el árido de la primera capa por una granulometría más gruesa.

Tabla 4.- Estructuras de TSRG más comunes

| Tipo de TSRG             | Áridos normales                                                      | Áridos especiales                                                            |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Monocapa                 | A·12/6<br>A·8/4<br>A·6/4                                             | AE·16/8<br>AE·12/6<br>AE·8/4<br>AE·6/4                                       |
| Monocapa preengravillado | A·20/12 + A·6/4<br>A·16/8 + A·6/4<br>A·18/6 + A·4/2                  | AE·20/12 + AE·6/4<br>AE·16/8 + AE·6/4<br>AE·12/6 + AE·4/2                    |
| Bicapa                   | A·20/12 + A·6/4<br>A·16/8 + A·6/4<br>A·12/6 + A·4/2<br>A·8/4 + A·4/2 | AE·20/12 + AE·6/4<br>AE·16/8 + AE·6/4<br>AE·12/6 + AE·4/2<br>AE·8/4 + AE·4/2 |
| Bicapa preengravillado   | A·20/12 + A·12/6 + A·6/4<br>A·16/8 + A·8/4 + A·4/2                   | AE·20/12 + AE·12/6 + AE·6/4<br>AE·16/8 + AE·8/4 + AE·4/2                     |
| Tricapa                  | A·20/12 + A·12/6 + A·6/3<br>A·16/8 + A·8/4 + A·4/2                   | AE·20/12 + AE·12/6 + AE·6/4 AE·16/8<br>+ AE·8/4 + AE·4/2                     |

### 3.3 Selección del tipo de ligante.

La selección del ligante más adecuado para un TSRG depende del tipo de riego que se desee realizar y de los condicionantes externos anteriormente citados: tráfico, trazado, soporte, climatología y época de ejecución. Con carácter general, las emulsiones catiónicas de rotura rápida y viscosidad elevada (ECR-3) serían los ligantes más adecuados para la mayor parte de las situaciones. Sin embargo, en España se siguen empleando de forma mayoritaria las del tipo ECR-2 quizá por tradición, por ser más sencillas de manejo y por su menor coste nominal.

Las principales consideraciones a tener en cuenta en la elección del ligante serían:

- En relación al tipo de riego:
  - o Evitar ligantes de baja viscosidad en monocapas y monocapas doble engravillado grueso.
  - o Evitar ligantes excesivamente viscosos en monocapas y bicapas preengravillados.
  - o Si el árido presenta un defecto de limpieza y no es subsanable, recurrir a ligantes no muy viscosos.
  - o Si el árido está húmedo, evitar los ligantes anhidros.
- En relación con el tráfico:
  - o Recurrir a los ligantes modificados con tráficos T3 o superior
- En relación con la climatología:
  - o En zonas de temperaturas muy altas, si se emplean emulsiones no modificadas recurrir a los tipos ECR-2d ó ECR-3d
  - o En zonas con fuertes gradientes térmicos, recurrir a los ligantes modificados
- En relación con el soporte:

- o En zonas complicadas con trazado muy sinuoso o pendientes fuertes, recurrir a los ligantes modificados

### 3.4 Dosificación del árido de cada capa.

En la experiencia española de TSRG, la dosificación de los áridos es uno de los aspectos más críticos y donde, con mayor frecuencia, se cometen fallos que afectan al éxito de la técnica. El error más extendido es el de la sobredosificación en las capas inferiores. Una dosificación correcta sólo podrá hacerse cuando se disponga de los áridos que realmente vayan a emplearse en obra. Para cada fracción de árido y a partir de muestras representativas se debe determinar su poder de cubrición (C, expresado en litros por metro cuadrado), esto es la cantidad mínima necesaria para saturar una superficie. Establecido dicho poder de cubrición la dosificación de árido a emplear dependerá, esencialmente, de la capa en que va a usarse cada fracción:

Veamos un ejemplo. Supongamos un típico riego monocapa preengravillado para el que se han seleccionado dos áridos, un A-12/6 y un A-6/3. Se estudia en laboratorio su poder de cubrición que resultan ser respectivamente  $C_1 = 8,6 \text{ l/m}^2$  y  $C_2 = 4,8 \text{ l/m}^2$ . La dosificación a emplear en obra debería estar, de entrada, en unos 7-7,5  $\text{l/m}^2$  de A-12/6 en la primera extensión y unos 5,5-6  $\text{l/m}^2$  de A-6/3. Naturalmente, el ajuste final lo haremos en el tramo de prueba de la obra.

Sin embargo, lo normal a la hora de redactar proyectos es que no se conozcan con certeza los áridos a emplear. Por ello, existen diversos métodos empíricos para la determinación aproximada de las cantidades óptimas de ligante y árido necesario para realizar un tratamiento superficial. A modo de recopilación, se citan algunos métodos utilizados para determinar la dosificación de áridos y ligante a emplear en un tratamiento monocapa:

Tabla 5.- Dosificación de áridos en base al poder de cubrición

| Tipo de TSRG                                                                                                                             | Capa    | Dosificación<br>(l/m <sup>2</sup> )       | Tipo de TSRG              | Capa    | Dosificación<br>A (l/m <sup>2</sup> )   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------|---------------------------|---------|-----------------------------------------|
| Monocapa                                                                                                                                 | Única   | A= 1,1-1,2 C                              | Bicapa<br>preengravillado | Primera | A <sub>1</sub> = 0,8-0,9 C <sub>1</sub> |
| Monocapa doble<br>engravillado                                                                                                           | Primera | A <sub>1</sub> = 0,7-0,8 C <sub>1</sub>   |                           | Segunda | A <sub>2</sub> = 0,9-1,0 C <sub>2</sub> |
|                                                                                                                                          | Ultima  | A <sub>2</sub> = 0,7-0,8 C <sub>2</sub>   |                           | Última  | A <sub>3</sub> = 1,1-1,2 C <sub>3</sub> |
| Monocapa<br>preengravillado                                                                                                              | Primera | A <sub>1</sub> = 0,8-0,9 C <sub>1</sub>   | Tricapa                   | Primera | A <sub>1</sub> = 0,9-1,0 C <sub>1</sub> |
|                                                                                                                                          | Ultima  | A <sub>2</sub> = 1,15-1,25 C <sub>2</sub> |                           | Segunda | A <sub>2</sub> = 0,9-1,0 C <sub>2</sub> |
| Bicapa                                                                                                                                   | Primera | A <sub>1</sub> = 0,9-1,0 C <sub>1</sub>   |                           | Última  | A <sub>3</sub> = 1,1-1,2 C <sub>3</sub> |
|                                                                                                                                          | Ultima  | A <sub>2</sub> = 1,1-1,2 C <sub>2</sub>   |                           |         |                                         |
| C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> representan los poderes de cubrición de las fracciones 1, 2 , 3 de los áridos a emplear |         |                                           |                           |         |                                         |

➤ **Método del C.R.R – Centre de Recherches Routiers (Bélgica).**

Este método establece el volumen de árido a extender A (l/m<sup>2</sup>) por las fórmulas:

$$A = \Delta - 0,01\Delta^2 + R$$

$$\Delta = (D+d)/2$$

donde :

Δ = tamaño medio del árido en mm

D = tamaño máximo del árido en mm

d = tamaño mínimo del árido en mm

R = parámetro que representa las posibles pérdidas, depende de Δ, y su valor varía entre 1,0 l/m<sup>2</sup> para Δ = 5 mm y 1,5 l/m<sup>2</sup> para Δ = 20 mm

➤ **Método de Linckenhayl o regla del décimo.**

Es uno de los métodos más empleados. Establece que en condiciones normales para:

$$\begin{aligned} \text{o } \Delta \geq 10 \text{ mm} &\rightarrow A = 0.9 \Delta \\ \text{o } \Delta < 10 \text{ mm} &\rightarrow A = 3 + 0.7 \Delta \end{aligned}$$

Es importante señalar que ambos métodos se refieren a riegos monocapa. Con frecuencia para los casos de TSRG multicapa se consideran las dotaciones de árido como acumulación de monocapas y se aplican los métodos anteriores a cada tamaño de árido. Esto puede ser aceptable a efectos de cálculo de mediciones de proyecto

pero no lo es para determinar la fórmula de trabajo.

**3.5 Dosificación del ligante de cada capa.**

La dosificación de ligante depende esencialmente del tamaño y dotación del árido empleado en cada capa. En el caso de un monocapa la dotación de ligante deberá ser tal que alcance una altura comprendida entre el 60% y el 70% del tamaño de las gravillas; si se pone menos ligante, la gravilla no queda bien sujeta y se desprende; si se pone más, hay exceso y se producirán exudaciones.

En los métodos descritos anteriormente para la dosificación de áridos se establecen también reglas para la dosificación del ligante:

➤ **Método del C.R.R**

En este método, la dotación de ligante L viene expresada por la fórmula:

$$L = a + b A \quad , \text{ donde:}$$

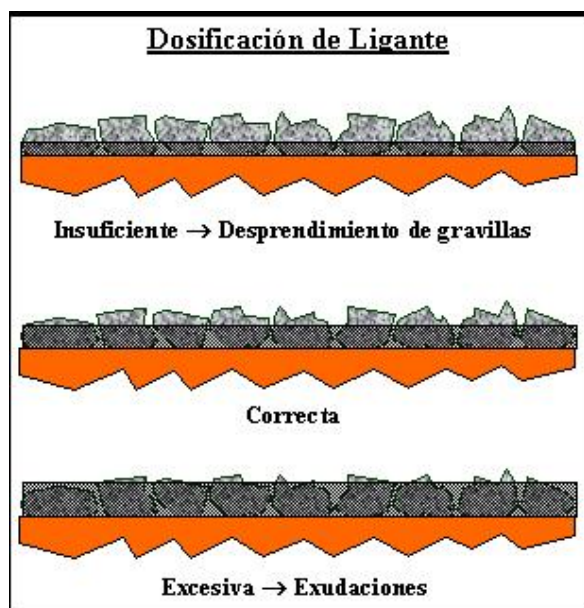
L = cantidad de ligante en kg/m<sup>2</sup>

a = parámetro que depende del estado y textura de la carretera, y varía desde:

a = 0 en carreteras exudadas

a = 0.34 en carreteras normales

a = 0.59 en carreteras porosas, secas o fisuradas.



b = parámetro que depende del tipo y forma de los áridos, y varía desde:

b = 0.06 áridos preenvueltos

b = 0.07 áridos artificiales

b = 0.09 áridos naturales.

A = cantidad de árido en l/m<sup>2</sup>

### ➤ Regla del décimo.

La dosificación de ligante, que da origen al nombre del procedimiento, viene dada por la expresión:

$$L \text{ (kg/m}^2\text{)} = 0,1 \cdot A \text{ (l/m}^2\text{)}$$

En ambos casos, la dosificación de ligante se refiere a betún residual. En la mayoría de los casos se empleará algún tipo de emulsión por lo que habrá que realizar la transformación dividiendo el valor de L por el porcentaje de betún residual de la emulsión.

Como en el caso de los áridos, estos métodos se han desarrollado para riegos monocapa y, en general, tienden a subdosificar el ligante cuando se emplean áridos finos y a sobredosificar con áridos gruesos. Cuando se trata de riegos multicapa se puede emplear la simplificación de determinar la cantidad total de ligante como la suma del correspondiente a cada tipo de árido compensando así los errores individuales. Pero lo que es más importante es tener en cuenta dos criterios adicionales:

- o Los TSRG monocapa y bicapa preengravillados requieren menos ligante que los correspondientes bicapa y tricapa realizados con el mismo tipo de áridos.
- o La distribución del ligante total cuando se aplican dos o más manos no corresponde a los tamaños de áridos. Una distribución aproximada más correcta sería:
  - Bicapas: 40% del total en 1ª mano y 60% en 2ª mano.
  - Bicapa preengravillado: 60% del total en 1ª mano y 40% en 2ª mano.
  - Tricapa: 35% del total en 1ª mano, 35% en 2ª mano y 30% en 3ª mano

Aplicando estos criterios se pueden establecer unas tablas de dosificaciones básicas para los TSRG que anteriormente se han señalado como más recomendables:

Tabla 6 .- Dosificaciones básicas de áridos y ligantes.

| 1 - RIEGOS CON GRAVILLA MONOCAPA |                                       | LIGANTE HIDROCARBONADO                            |                 |                 |
|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
|                                  |                                       | B 150/200<br>BM-5                                 | ECR-3<br>ECR-3m | ECR-2<br>ECR-2m |
| TIPO                             | Dotación de árido (l/m <sup>2</sup> ) | Dotación de ligante residual (kg/m <sup>2</sup> ) |                 |                 |
| AE 16/8                          | 10 – 13                               | 1,3                                               | --              | --              |
| A 12/6 ; AE 12/6                 | 7 – 10                                | 1,0                                               | 1,0             | --              |
| A 8/4 ; AE 8/4                   | 5 – 8                                 | --                                                | 0,8             | 0,8             |
| A 6/4 ; AE 6/4                   | 4 – 7                                 | --                                                | 0,6             | 0,6             |

## 2 - RIEGOS CON GRAVILLA MONOCAPA PREENGRAVILLADOS

| Aplicación     | ARIDO   |          |                                       | LIGANTE HIDROCARBONADO |                                                   |
|----------------|---------|----------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------|
|                | TIPO    |          | Dotación de árido (l/m <sup>2</sup> ) | TIPO                   | Dotación de ligante residual (kg/m <sup>2</sup> ) |
| 1 <sup>a</sup> | A 20/12 | AE 20/12 | 11 – 14                               | ECR-3, ECR-3m          | 1,7                                               |
| 2 <sup>a</sup> | A 6/4   | AE 6/4   | 6 – 9                                 |                        |                                                   |
| 1 <sup>a</sup> | A 16/8  | AE 16/8  | 8 – 11                                | ECR-3, ECR-3m          | 1,5                                               |
| 2 <sup>a</sup> | A 6/4   | AE 6/4   | 5 – 8                                 |                        |                                                   |
| 1 <sup>a</sup> | A 12/6  | AE 12/6  | 6 – 9                                 | ECR-2, ECR-2m          | 1,2                                               |
| 2 <sup>a</sup> | A 4/2   | AE 4/2   | 4 – 7                                 | ECR-3, ECR-3m          |                                                   |

## 3 - RIEGOS CON GRAVILLA BICAPA

| Aplicación     | ARIDO   |          |                                       | LIGANTE HIDROCARBONADO |                                                   |
|----------------|---------|----------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------|
|                | TIPO    |          | Dotación de árido (l/m <sup>2</sup> ) | TIPO                   | Dotación de ligante residual (kg/m <sup>2</sup> ) |
| 1 <sup>a</sup> | A 20/12 | AE 20/12 | 12 – 16                               | ECR-3, ECR-3m          | 0,9                                               |
| 2 <sup>a</sup> | A 6/4   | AE 6/4   | 6 – 8                                 |                        | 1,3                                               |
| 1 <sup>a</sup> | A 16/8  | AE 16/8  | 9 – 12                                | ECR-2, ECR-2m          | 0,8                                               |
| 2 <sup>a</sup> | A 6/4   | AE 6/4   | 5 – 7                                 |                        | 1,1                                               |
| 1 <sup>a</sup> | A 12/6  | AE 12/6  | 7 – 9                                 | ECR-3, ECR-3m          | 0,6                                               |
| 2 <sup>a</sup> | A 4/2   | AE 4/2   | 4 – 6                                 |                        | 0,9                                               |
| 1 <sup>a</sup> | A 8/4   | AE 8/4   | 5 – 7                                 | ECR-2, ECR-2m          | 0,5                                               |
| 2 <sup>a</sup> | A 4/2   | AE 4/2   | 4 – 6                                 |                        | 0,7                                               |

## 4 - RIEGOS CON GRAVILLA BICAPA PREENGRAVILLADOS

|            | ARIDO             |                          | LIGANTE HIDROCARBONADO |                                      |
|------------|-------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Aplicación | TIPO              | Dotación de árido (l/m²) | TIPO                   | Dotación de ligante residual (kg/m²) |
| 1ª         | A 20/12, AE 20/12 | 11 – 14                  | ECR-2, ECR-2m          | 1,6                                  |
| 2ª         | A 12/6, AE 12/6   | 7 – 9                    |                        | 1,0                                  |
| 3ª         | A 6/4, AE 6/4     | 5 – 7                    |                        |                                      |
| 1ª         | A 16/8, AE 16/8   | 8 – 11                   | ECR-3, ECR-3m          | 1,4                                  |
| 2ª         | A 8/4, AE 8/4     | 5 – 7                    |                        | 0,9                                  |
| 3ª         | A 4/2, AE 4/2     | 4 – 6                    |                        |                                      |

## 5 - RIEGOS CON GRAVILLA TRICAPA

| Aplicación     | ARIDO             |                                       | LIGANTE HIDROCARBONADO         |                                                   |
|----------------|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|
|                | TIPO              | Dotación de árido (l/m <sup>2</sup> ) | TIPO                           | Dotación de ligante residual (kg/m <sup>2</sup> ) |
| 1 <sup>a</sup> | A 20/12, AE 20/12 | 12 – 16                               | ECR-2, ECR-2m<br>ECR-3, ECR-3m | 1,1                                               |
| 2 <sup>a</sup> | A 12/6, AE 12/6   | 7 – 9                                 |                                | 1,1                                               |
| 3 <sup>a</sup> | A 6/4, AE 6/4     | 5 – 7                                 |                                | 0,8                                               |
| 1 <sup>a</sup> | A 16/8, AE 16/8   | 9 – 12                                |                                | 0,9                                               |
| 2 <sup>a</sup> | A 8/4, AE 8/4     | 5 – 7                                 |                                | 0,8                                               |
| 3 <sup>a</sup> | A 4/2, AE 4/2     | 4 – 6                                 |                                | 0,6                                               |

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.

| Factores a considerar | Tipo de TSRG         | MC    | MDE | MPE   | BC             |                | BCPE           |                | TC             |                |                |
|-----------------------|----------------------|-------|-----|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                       | Mano de ligante      | Única |     | Única | 1 <sup>a</sup> | 2 <sup>a</sup> | 1 <sup>a</sup> | 2 <sup>a</sup> | 1 <sup>a</sup> | 2 <sup>a</sup> | 3 <sup>a</sup> |
| Tráfico               | T2 o superior        | -10   |     | -8    | -10            |                | -8             |                | -10            |                |                |
|                       | T3                   | -5    |     | -4    | -5             |                | -4             |                | -5             |                |                |
|                       | T41                  | 0     |     | 0     | 0              |                | 0              |                | 0              |                |                |
|                       | T42                  | +5    |     | +4    | +5             |                | +4             |                | +5             |                |                |
|                       | IMDV <sub>p</sub> =0 | +10   |     | +8    | +10            |                | +8             |                | +10            |                |                |

| Factores a considerar | Tipo de TSRG    | MC    | MDE | MPE   | BC             |                | BCPE           |                | TC             |                |                |
|-----------------------|-----------------|-------|-----|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                       | Mano de ligante | Única |     | Única | 1 <sup>a</sup> | 2 <sup>a</sup> | 1 <sup>a</sup> | 2 <sup>a</sup> | 1 <sup>a</sup> | 2 <sup>a</sup> | 3 <sup>a</sup> |
| Permeabilidad         | Impermeable     | 0     |     | 0     | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              |
|                       | Muy permeable   | +10   |     | +10   | +10            | 0              | +10            | 0              | +10            | 0              | 0              |
| Rugosidad             | Muy rugoso      | +6    |     | +2    | +6             | 0              | +2             | 0              | +6             | 0              | 0              |
|                       | Rugoso          | +3    |     | +1    | +3             | 0              | +1             | 0              | +3             | 0              | 0              |
|                       | Poco rugoso     | 0     |     | 0     | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              |
|                       | Liso            | -3    |     | -1    | -3             | 0              | -1             | 0              | -3             | 0              | 0              |
| Ligante en superficie | Muy pobre       | +12   |     | +4    | +10            | +2             | +4             | +2             | +8             | +2             | +2             |
|                       | Pobre           | +6    |     | +2    | +5             | +1             | +2             | +1             | +4             | +1             | +1             |
|                       | Normal          | 0     |     | 0     | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              |
|                       | Rico            | -6    |     | -2    | -5             | -1             | -2             | -1             | -4             | -1             | -1             |
|                       | Exudado         | -12   |     | -4    | -10            | -2             | -4             | -2             | -8             | -2             | -2             |

- **Trazado.** En trazados sinuosos puede resultar conveniente aumentar ligeramente la dosificación, en particular en las curvas. En rampas, por el contrario, conviene reducir algo la dosificación para compensar el efecto que produce la menor velocidad de los vehículos.

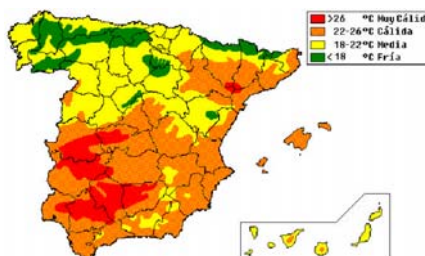
- **Climatología.** En zonas frías, de mucha altura y/o poco soleadas habrá que aumentar la dosificación y acentuar el efecto de inversión en la distribución del ligante, esto es, por ejemplo en un bicapa, reducir ligante en primera mano y aumentar en segunda. En zonas con temperaturas altas y/o fuertemente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

| Factores a considerar | Tipo de TSRG    | Todos |
|-----------------------|-----------------|-------|
|                       | Mano de ligante | Todas |
| <b>Trazado</b>        | Recto/liso      | 0     |
|                       | Sinuoso/liso    | +2    |
|                       | Recto/Pend.     | -5    |
|                       | Sinuoso/Pend.   | -2    |

| Factores a considerar                | Tipo de TSRG    | Todos |
|--------------------------------------|-----------------|-------|
|                                      | Mano de ligante | Todas |
| <b>Temperatura media en Invierno</b> | Muy Fría        | +4    |
|                                      | Fría            | +2    |
|                                      | Media           | 0     |
|                                      | Cálida          | -2    |



| Factores a considerar              | Tipo de TSRG    | Todos |
|------------------------------------|-----------------|-------|
|                                    | Mano de ligante | Todas |
| <b>Temperatura media en Verano</b> | Muy Cálida      | -4    |
|                                    | Cálida          | -2    |
|                                    | Media           | 0     |
|                                    | Fría            | +2    |



| Factores a considerar | Tipo de TSRG    | Todos |
|-----------------------|-----------------|-------|
|                       | Mano de ligante | Todas |
| Soleamiento           | Muy soleada     | -5    |
|                       | Soleada         | -2    |
|                       | Normal          | 0     |
|                       | Sombreada       | +2    |
|                       | Umbría          | +5    |

- *Árido.* La presencia de lajas obliga a reducir la dosificación para tener en cuenta el mayor poder de cubrición. Con árido algo sucio (nunca más de 1% de coeficiente de limpieza) resulta conveniente aumentar ligeramente la dosificación de ligante.

| Factores a considerar | Tipo de TSRG    | Todos |
|-----------------------|-----------------|-------|
|                       | Mano de ligante | Todas |
| Forma del árido       | Lajoso          | -6    |
|                       | Normal          | 0     |
| Limpieza del árido    | Limpio          | 0     |
|                       | Sucio           | +5    |

- *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.

| Factores a considerar | Tipo de TSRG    | Todos |
|-----------------------|-----------------|-------|
|                       | Mano de ligante | Todas |
| Época de ejecución    | 15/3 a 30/4     | 0     |
|                       | 1/5 a 31/8      | 0     |
|                       | 1/9 a 30/9      | 0     |
|                       | 1/10 a 14/11    | +5    |
|                       | 15/11 a 14/3    | +5    |

Por último, es preciso tener en cuenta los límites de la acumulación de correcciones. Situaciones que supongan aumentos por encima del 25-30% y reducciones mayores del 15-20% deben ser analizadas con cuidado y estudiar soluciones alternativas porque muy probablemente un TSRG no será la solución más adecuada o requerirá la realización de algún tipo de trabajo previo a su ejecución.

## 4 MAQUINARIA.

---

Junto con la calidad de los materiales, y la correcta elección del tipo de tratamiento, el estado de conservación y el buen funcionamiento de la maquinaria son también factores esenciales que condicionan la calidad final del tratamiento.

### 4.1 Cisterna de riego.

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. Si la aplicación con la cisterna se hace extensiva a ligantes anhidros debe además estar dotada de un sistema de calentamiento que garantice la temperatura deseada del producto en el momento de su empleo.

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

Para la aplicación del ligante a través de la rampa de pulverización, los sistemas de gravedad o presión de aire en el interior de la cuba prácticamente no se utilizan, siendo los más usuales los de:

- 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 carretera. 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 independencia de la dosificación con la velocidad del distribuidor, en virtud del acoplamiento de una bomba volumétrica en las ruedas motoras de la unidad tractora.

Los equipos más modernos están equipados de sofisticados sistemas electrónicos que permiten precisiones en la dosificación en torno al 1%. Para ello es necesario suministrar datos precisos de densidad y/o viscosidad a la temperatura de trabajo, así como realizar calibrados continuos del sistema.

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.

La separación entre difusores suele estar comprendida entre 10 y 15 cm. Los difusores suelen ser de tipo “jet cónicos” para extender ligantes a alta presión (presión en la rampa > 0,2 Mpa), o los “jet de abanico” que son los más corrientes y que trabajan a presiones en rampa media (0,02 a 0,2 Mpa).

La regularidad en la distribución, como es de suponer, ha de ser lo más perfecta posible.



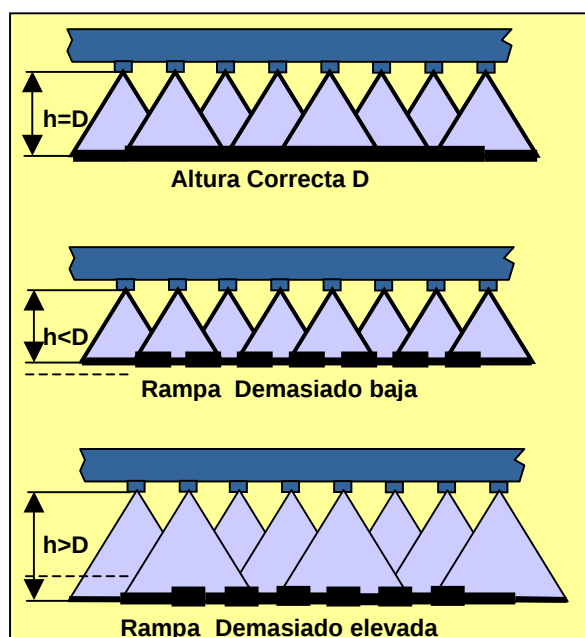
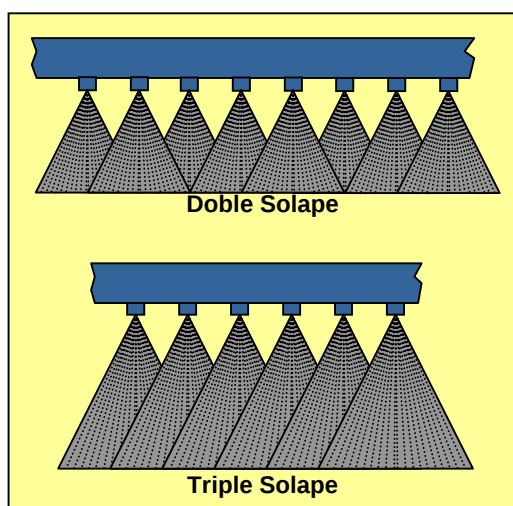
Un criterio de medida de esta regularidad es el factor  $r$ , que no debe ser inferior a 0,2 y que se determina:

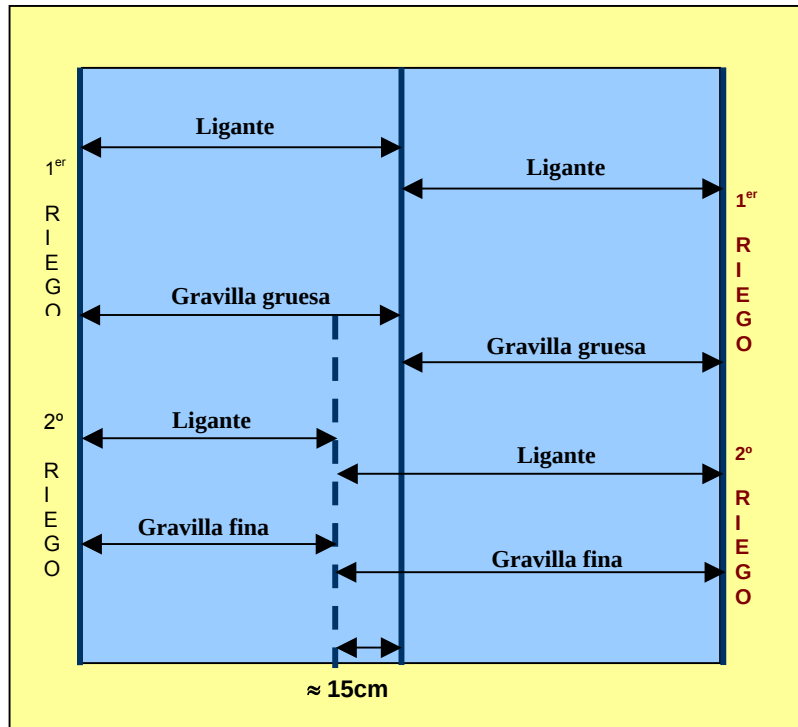
$$r = (D - d) / (D + d)$$

siendo;  $D$  y  $d$  las dotaciones máximas y mínimas respectivamente, obtenidas en 10 comprobaciones, ninguna de las cuales deberá hacerse dentro de los 50 m siguientes a una parada de la cisterna. La regularidad transversal adecuada se alcanza siempre y cuando la altura de la rampa y el ángulo de los abanicos permita en cada punto la

superposición correcta del ligante emitido por los difusores (ver gráfico). Este exige vigilancia continua sobre la limpieza de los difusores, la presión en la rampa y la constancia en la viscosidad del ligante que se extiende; a más viscosidad menos ángulo, y por tanto líneas longitudinales subdosificadas de ligante.

Los errores en la distribución longitudinal tienen como causa defectos del distribuidor o de los operarios, en tanto que los que se refieren a la distribución transversal tienen su origen en la rampa distribuidora.





Las operaciones de extensión de 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.

Las paradas y puestas en marcha de la cisterna de riego exigen un total y rápido cierre o apertura de todos los pulverizadores, lo que no es sencillo en la práctica. Por tal razón, conviene que estas operaciones se efectúen sobre superficies falsas, empleando para ello tiras de papel siliconado o Kraft, que, una vez utilizadas, deberán destruirse.

Para la realización de la junta longitudinal se deberá cubrir con el árido fino los 15 cm, de borde interior, operación que se llevará a cabo al ejecutar el otro medio ancho. Otro dato a tener en cuenta es que el ligante deberá regarse a una temperatura en que su viscosidad quede dentro de los límites sancionados por la experiencia. De manera general, los ligantes deberán poseer, para que puedan pulverizarse sin problemas, una viscosidad de 20 a 120 centistokes o, lo que

es lo mismo, de 12 a 60 segundos Saybolt-Furol.

#### 4.2 Repartidoras de gravilla.

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 tiene lugar con temperaturas límites o cuando los ligantes poseen 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, pertenecen a los siguientes tipos:

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



El más sencillo consiste en el acoplamiento, sobre el basculante de un camión, de un distribuidor de áridos. El volumen de áridos se regula por la abertura de la trampilla y por la velocidad del camión.

Las empujadas por camión con elementos de rodadura propios son las que se utilizan más frecuentemente. Consisten en una tolva sobre la que caen los áridos transportados por el camión, un elemento de distribución que puede ser tornillo helicoidal o sinfín, y una abertura a respetar según la dosificación deseada.

Por último, las repartidoras autopropulsadas reciben los áridos sobre tolva en su parte posterior, directamente de los camiones transportadores, y, por medio de una cinta, se trasladan automáticamente a la tolva delantera, donde caen sobre la superficie de la calzada desde una altura de unos 15 cm., distancia óptima para que al caer no salten, y obtener, en las paradas, juntas transversales netas.

Existen máquinas mixtas, es decir, que disponen de almacenamiento de árido y ligantes realizando el extendido de ambos simultáneamente. Pueden trabajar en superficies grandes, siempre con la limitación de su capacidad de almacenamiento, o bien en reparaciones puntuales.

## 5 EJECUCIÓN DE LOS TSRG.

De forma más acusada que en otras técnicas de pavimentación, en los TSRG el proceso de ejecución constituye uno de los factores más importantes de cara al éxito



final de la aplicación. El conocimiento y la experiencia que los equipos tengan en la puesta en obra resultan, por tanto, fundamentales y deberán cuidarse diferentes aspectos tanto durante la ejecución del riego en sí como antes y después.

### 5.1 Precauciones antes de la ejecución.

La ejecución de los TSR debe procurar hacerse, siempre que sea posible, en buena época, procurando evitar el frío y la lluvia. No debe comenzarse sin antes haber realizado una serie de controles y operaciones previas: preparación del soporte, control y acopio de áridos, elección del equipo.

La preparación del soporte comporta dos fases. La primera, que afecta sólo a las operaciones de conservación/mantenimiento, debe hacerse con suficiente anticipación, preferentemente en la temporada anterior. Consiste en el bacheo, saneo de blandones y reperfilado de la superficie que va a recibir el TSRG, siempre que estas operaciones sean precisas. La segunda, a ejecutar en todos los casos, es el barrido y limpieza del soporte que debe realizarse poco antes, el día anterior por ejemplo, de la ejecución del riego.

El control de los áridos es también una operación fundamental. Además de la comprobación previa de su capacidad mecánica (Los Ángeles y C.P.A.) se controlarán sus otras características más importantes (granulometría, forma y limpieza) durante todo el suministro comprobando que sean conformes con las exigencias y que se mantiene una uniformidad en las características.



Se procurará tener todo el árido acopiado antes de empezar la ejecución. Si se trata de obras grandes se habilitarán varios acopios y se procurará disponer de un acopio mínimo de todos y cada uno de los áridos para, al menos, una semana de trabajo. Como es lógico los acopios se dispondrán sobre terrenos firmes, secos y limpios, separados claramente los diferentes tamaños y evitando las posibles segregaciones.

La elección del equipo se realizará conforme a los rendimientos previstos. Normalmente el cuello de botella de los equipos para TSRG son los gravilladores. Si se quieren obtener grandes rendimientos y una ejecución correcta será necesario disponer de gravilladores autopropulsados o bien de al menos, 3 ó 4 gravilladores convencionales. Todo el equipo se deberá revisar concienzudamente antes del arranque de los trabajos, en particular el correcto funcionamiento de la rampa de la cisterna y el reparto de los gravilladores.

Un aspecto bastante controvertido en relación al equipo es el del tipo de compactadores a emplear. Como norma básica, el compactador más adecuado es el de neumáticos y es el que debe realizar la parte fundamental del apisonado. Sin embargo, cuando los áridos sean suficientemente duros y la geometría del soporte sea buena, puede emplearse, como complemento al de neumáticos, un rodillo tándem metálico de peso medio. Este rodillo será también muy conveniente cuando

ejecutemos riegos bicapa preengravillados sobre materiales granulares para anclar la primera extensión de gravilla al soporte.

## 5.2 Precauciones durante la ejecución.

Como ya se ha indicado, la ejecución de un TSRG es una operación en la que tiene una influencia decisiva la preparación y experiencia del equipo humano. Sirva como ejemplo el manual de la administración de carreteras belga que señala como primera y más importante recomendación para alcanzar el éxito en la ejecución de un riego, la presencia continua en la obra de un encargado experimentado.

La primera operación será la realización del tramo de prueba. Esto permitirá ajustar las dotaciones de áridos y ligante, controlar las dotaciones y ajustar la velocidad de la cisterna y los gravilladores, fijar el número de pasadas mínimo de los compactadores, etc.. Además será el momento de fijar los cometidos de cada uno de los miembros del equipo y darles las explicaciones e instrucciones precisas. Se definirán las longitudes máximas a regar en cada tramo, que serán función de la capacidad de los camiones gravilladores.

Cada día, antes de empezar la extensión, se comprobará el funcionamiento del equipo, especialmente de la rampa de la cisterna (altura, inclinación, apertura y solape de difusores,...) y de los gravilladores (apertura de las trampillas, posibles atascos,...)

Realizadas las comprobaciones y dispuesto todo el equipo se empieza la ejecución en sí. Durante la ejecución se mantendrán los gravilladores lo más cerca posible de la cisterna al objeto de optimizar el mojado del árido por el ligante. A tal efecto se darán instrucciones al conductor de la cisterna para que ajuste su velocidad a la de los camiones gravilladores. Cualquier defecto en la distribución del ligante o del árido dará lugar a que se detenga la ejecución. Pequeños problemas en la distribución del árido pueden corregirse a mano con cepillos pero esto deberá ser excepcional y se realizará lo más rápidamente posible. Se tendrá especial cuidado en evitar dotaciones excesivas de árido. Se comprobará con frecuencia la dosificación de ligante y árido disponiendo bandejas al paso de la cisterna y los gravilladores.

Los compactadores empezarán a trabajar en cuanto sea posible. Si se emplean rodillos metálicos, tras cada extensión de árido se dará una primera pasada con el rodillo que servirá para formar el mosaico. El neumático se empleará después de la última extensión de árido y se seguirán dando pasadas mientras sea posible ya que de esta forma se minimiza el efecto de la apertura al tráfico.

Hay que disponer tiras de papel o plástico en las juntas transversales para evitar dotaciones defectuosas. Las juntas longitudinales se dispondrán de forma que no coincidan las de sucesivas manos de ligante ni las extensiones de árido en los riegos multicapa.

Resulta muy conveniente establecer longitudes de tramo a ejecutar que permitan cerrar secciones completas de TSR cada día. Se debe evitar el paso del tráfico sobre tramos que no estén totalmente terminados para evitar deterioros que son difícilmente subsanables.

### 5.3 Precauciones tras la ejecución.

Una vez se ha finalizado la ejecución, el principal problema suele ser la decisión sobre el momento de apertura al tráfico. A diferencia de otras técnicas, en el TSRG no existe ningún ensayo o procedimiento que

nos indique que el ligante ha alcanzado la cohesión mínima necesaria para resistir el tráfico sin problemas. El efecto de los vehículos sobre el riego es similar al de los compactadores de neumáticos, por ello cuanto más tiempo podamos seguir apisonando con este equipo el TSRG más segura será la apertura al tráfico.



La apertura al tráfico se realizará procurando que los vehículos circulen a baja velocidad y evitando que tengan que realizar maniobras bruscas, paradas o giros, sobre el TSRG recién ejecutado. Si se consigue esto, el efecto sobre el riego puede resultar incluso beneficioso. Un vehículo-guía puede ser una excelente herramienta para ello.



Otro aspecto importante, en este caso relacionado con la seguridad del tránsito, es el de la eliminación del árido sobrante mediante barrido. Esta operación no debe posponerse excesivamente por motivos de seguridad. En general, salvo que pueda mantenerse un control estricto sobre la velocidad de los vehículos, conviene realizarla antes de las 24-48 horas. Además hay que tener en cuenta que este primer barrido no suele ser suficiente y hay que tener previsto un barrido posterior que se

realizaría, según la intensidad del tráfico, al cabo de una o dos semanas.

En carreteras de bajo tráfico suele ser aconsejable realizar tras el barrido final un ligero riego de protección. Para ello se aplica una mano de emulsión, que debe ser un betún sin fluidificantes, con una dotación muy baja, del orden de los 150-200 g/m<sup>2</sup> de

ligante residual. Con ello se consigue conectar lateralmente las gravillas del último riego aumentando la eficacia de funcionamiento del mosaico y con ello mejorar la resistencia a los esfuerzos tangenciales transmitidos por el tráfico. Adicionalmente este riego protector homogeniza el aspecto visual y mejora la visibilidad de las marcas viales.



**Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas**

C/ San Severo, 18  
28042 – Madrid (España)  
Teléfono : 91/329.17.37  
Fax : 91/329.28.66

E-mail : [secretaria.j.rincon@ateb.es](mailto:secretaria.j.rincon@ateb.es)

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