

GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS EN LA EJECUCIÓN DE RIEGOS DE ADHERENCIA

EDITA:

Asociación Técnica de Carreteras
C/ Monte Esquinza, 24
28010 Madrid

IMPRESIÓN:

Huna Soluciones Gráficas S.L.
Avenida Montes de Oca, 7 Portal 6
28703 S.S. de los Reyes (Madrid)

ISBN:

978-84-95641-57-1

DEPÓSITO LEGAL:

M-30674-2023

Impreso en España - Printed in Spain

PRESENTACIÓN

El comportamiento y la durabilidad de un firme dependen en gran medida del funcionamiento solidario de todas sus capas, es decir, de la adherencia y unión entre ellas. La falta de adherencia entre capas hace que las superiores no puedan transmitir los esfuerzos tangenciales a las inferiores y, por tanto, tengan que soportarlos ellas solas. Como bien se sabe, estos esfuerzos producen deformaciones horizontales que a la larga acabarán rompiendo la capa en su fibra inferior por fatiga, iniciando el desarrollo de fisuras que acaban llegando a la superficie de rodadura. En definitiva, a estos efectos, es como si se hubiese dispuesto un firme con menos espesor del real. Diferentes estudios realizados, que se citan en este documento, indican que la inexistencia de adherencia entre capas de mezclas bituminosas puede reducir su espesor efectivo del orden del 55-60 %.

Para evitar esta situación se emplean los riegos de adherencia con emulsión bituminosa, a modo de ligante que mantenga las capas pegadas. Por desgracia, no siempre es fácil conseguir que el riego de adherencia cumpla su objetivo. La existencia de suciedad debida al tráfico de obra en el caso de pavimentos nuevos, cuando el riego se deja mucho tiempo antes de extender la capa de mezcla bituminosa, o la premura de tiempo o la existencia de polvo en las zonas fresadas en el caso de rehabilitaciones de firmes, pueden llevar a un mal funcionamiento de estos riegos.

Además, dada la poca importancia económica de esta unidad, en muchas ocasiones no se dedica el tiempo suficiente a su diseño, considerando las emulsiones y dotaciones más adecuadas para las diferentes situaciones que se pueden presentar, ni a su extendido, limpiando bien las superficies de base y evitando la circulación del tráfico de obra por encima de las mismas antes de que se encuentren lo suficientemente secas como para que no se las lleven adheridas a sus ruedas.

Hoy en día existen diversos tipos de emulsiones bituminosas que se pueden adaptar a las diferentes situaciones de obra. Emulsiones de betún convencional, emulsiones modificadas o de betunes modificados y emulsiones termoadherentes suponen un abanico suficientemente amplio para abordar todas las situaciones y climas que se puedan presentar, pero además existen otras tecnologías como la extendidora con riego incorporado, que evita que pueda ser pisado por los camiones que la abastecen de mezcla bituminosa, o el extendido de lechadas de cal que protegen el riego de adherencia del arrastre por los neumáticos de los vehículos de obra que participan en el extendido, especialmente útil con altas temperaturas.

En este documento, se hace una presentación fácil, sintética y completa de todos los aspectos a tener en cuenta en el diseño y extendido de los riegos de adherencia. Desde la elección del tipo de emulsión bituminosa y su dosificación más adecuada hasta los detalles de ejecución, incluyendo los distintos tipos de maquinaria existente para cada una de las operaciones a realizar, las buenas prácticas a desarrollar, los diferentes campos de aplicación y el con-

trol de calidad. Pero, además, se incluyen una serie de anejos que pueden ser de gran ayuda al ingeniero de obra por su practicidad. En el anejo 1 se indica para cada situación de capa inferior-capa superior el tipo de emulsión más adecuado, la dosificación media y sus tolerancias admisibles en función de variables como la textura de la capa inferior o la zona estival donde se va a aplicar. En el anejo 2 se indica la documentación previa que debe aportar el contratista a la Dirección de Obra y los datos que deben reseñarse en los albaranes y la etiqueta del marcado CE, así como los datos sobre la maquinaria que se va a utilizar. Por último, en el anejo 3 se indican las comprobaciones que se deben realizar antes de, durante y tras la ejecución de un riego de adherencia para asegurar su eficacia.

Como se ha expuesto, la adherencia entre capas es fundamental para conseguir firmes duraderos que cumplan las previsiones de diseño en las que se basan las normas 6.1 y 6.3 IC actuales. Conseguir aumentar la durabilidad de los firmes no es solo un objetivo económico, sino también medioambiental, ya que esta lleva aparejado un menor consumo de materias primas y combustibles, y una menor afección al tráfico al reducirse las operaciones de rehabilitación, lo que implica no solo una reducción de la molestia social, sino también de las emisiones por consumo de combustible. Se puede afirmar que los riegos de adherencia entran de pleno en el concepto del nuevo enfoque para el diseño y construcción de firmes, que incluye la sostenibilidad y la resiliencia como requisitos a cumplir.

Por último, quiero felicitar al Comité de Firmes de la Asociación Técnica de Carreteras y especialmente a su grupo de trabajo GT6 por su trabajo en la redacción de este documento, sin regatear en dedicación y esfuerzo.

Álvaro Navareño Rojo

Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras

Este documento ha sido redactado por el Grupo de Trabajo “Buenas prácticas en la ejecución de Riegos de Adherencia” del Comité de Firms de la Asociación Técnica de Carreteras. Las personas que componen el Grupo de Trabajo son:

- **Daniel Andaluz García (coordinador)**
ATEB - Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas
- Jesús Felipe Sanjuán
ACEX - Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras
- Jacinto Luis García Santiago
ICCP experto en ingeniería de firms
- Francisco de Asís Martínez Torres
Eiffage
- Rodrigo Miró Recasens.
UPC - Universidad Politécnica de Cataluña
- José Luis Peña Ruiz
ASEFMA - Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas

Agradecemos la labor de revisar y aportar valor a esta guía a M.^a José Sierra, Julio Vaquero, José Manuel Blanco, Francisco Javier Payán de Tejada, José Antonio Soto, Claudio Fonseca, Ricardo Bardasano, a la Comisión Técnica de ASEFMA y al Comité Técnico de ATEB.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	09
2. ELEMENTOS CLAVE DE LOS RIEGOS DE ADHERENCIA	10
3. TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS EMULSIONES RECOMENDADAS	11
4. MAQUINARIA	13
4.1 EQUIPOS/ÚTILES DE LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE A TRATAR	14
4.2 EQUIPOS DE RIEGO	20
5. BUENAS PRÁCTICAS PARA UNA CORRECTA PUESTA EN OBRA	24
5.1 ELECCIÓN DEL TIPO DE LIGANTE	25
5.2 DOSIFICACIÓN DEL LIGANTE	25
5.3 ALMACENAMIENTO DE LA EMULSIÓN	27
5.4 LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE	27
5.5 APLICACIÓN DEL RIEGO DE ADHERENCIA	29
6. CAMPOS DE APLICACIÓN	31
6.1 EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN FIRME BITUMINOSO	31
6.2 EN ACTUACIONES DE REFUERZO DEL FIRME	32
6.3 EN ACTUACIONES DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE FRESADO Y REPOSICIÓN	32
6.4 EN ACTUACIONES DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE RECICLADO CON EMULSIÓN	32
6.5 EN ACTUACIONES DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE RECICLADO CON CEMENTO	33
6.6 EN ACTUACIONES DE REHABILITACIÓN SUPERFICIAL	33
6.7 EN ACTUACIONES DE REPARACIÓN	33
6.8 EN FIRMES URBANOS	33
6.9 SOBRE MATERIALES TRATADOS CON CONGLOMERANTES HIDRÁULICOS	34
6.10 EN JUNTAS	34

7. CONTROL DE CALIDAD	34
8. CONCLUSIONES	35
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
ANEJO 1. EMULSIONES RECOMENDADAS Y DOTACIÓN MÍNIMA	39
ANEJO 2. LISTADO DE DOCUMENTACIÓN A APORTAR POR EL CONTRATISTA	49
ANEJO 3. COMPROBACIONES ANTES DE, DURANTE Y TRAS LA EJECUCIÓN DE UN RIEGO DE ADHERENCIA	53

1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de un riego de adherencia sobre una capa tratada con ligantes hidrocarbonados o conglomerantes hidráulicos, previa a la colocación sobre esta de una capa bituminosa, pretende que las capas que componen el firme trabajen solidariamente de forma que las tensiones provocadas por las cargas del tráfico se distribuyan adecuadamente.

La falta de adherencia entre las capas influirá negativamente en la capacidad estructural del firme, aumentando las deformaciones y tensiones en las capas no adheridas y provocando, por tanto, deterioros prematuros.

La correcta elección y las buenas prácticas en la ejecución del riego de adherencia son de vital importancia para la durabilidad del firme.

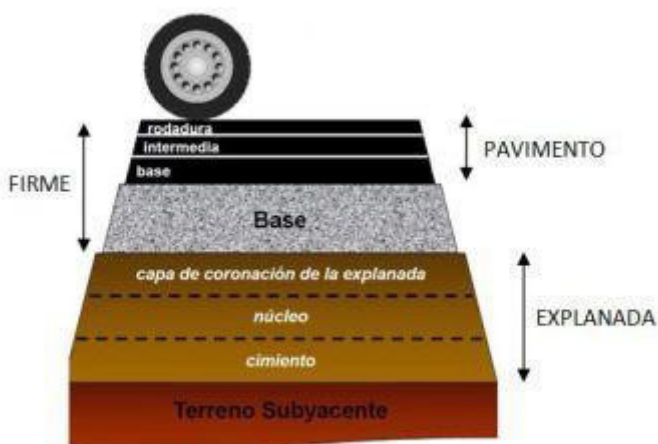


Figura 1. Diversas capas que forman la estructura de una carretera.

A modo de ejemplo, se ha calculado el efecto que tiene la falta de adherencia entre capas. En la figura 2 se puede ver que cuando se construye una capa asfáltica de 34 cm de espesor en cuatro tongadas y no se consigue la adherencia entre ellas, el espesor efectivo de esas capas del firme se puede llegar a reducir en torno al 55-60 %.

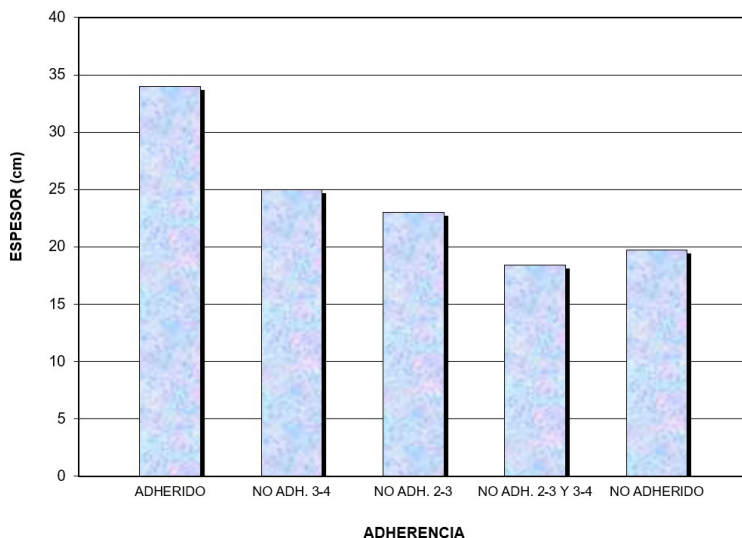


Figura 2. Variación del espesor efectivo de mezcla según el estado de adherencia entre capas

Así, es necesario tener en cuenta todos estos factores y asegurar una correcta ejecución del riego, además de controlar la adherencia final conseguida. El objetivo de esta Guía de buenas prácticas en la ejecución de riegos de adherencia es, precisamente, contribuir a ello.

2. ELEMENTOS CLAVE DE LOS RIEGOS DE ADHERENCIA

Para conseguir los mejores resultados es imprescindible tener en cuenta, al menos, los siguientes aspectos.

- a) El tipo de emulsión a emplear. La viscosidad, la velocidad de rotura y la consistencia del ligante residual son propiedades esenciales de las emulsiones que se emplean en este tipo de tratamiento. Dependiendo de la climatología y la magnitud de las cargas del tráfico se elegirá el tipo de emulsión más adecuado.

El avance en la tecnología de las emulsiones permite hoy en día diseñar un producto a medida de las necesidades concretas de cada obra y de las condiciones de aplicación.

- b) La limpieza y preparación de la superficie existente. La limpieza de la superficie sobre la que se va a aplicar el riego de adherencia es determinante. En la mayoría de los casos lo más adecuado es la prevención, sobre todo en firmes de nueva construcción, en los que no es sencillo evitar que los vehículos de obra circulen sobre la superficie a tratar y dejen restos de barro muy difíciles de eliminar, y que impiden la adherencia entre capas.

En el caso de superficies fresadas será necesario el empleo de equipos de barrido y aspiración para evitar la acumulación de detritus que impiden el buen funcionamiento del riego de adherencia.

- c) La dotación. Para cada caso concreto existe una cantidad adecuada de ligante para garantizar la unión entre las capas. Una dotación excesivamente baja no permitirá alcanzar unos niveles adecuados de adherencia, mientras que dotaciones en exceso pueden ser perjudiciales pudiendo provocar, en los casos más extremos, deslizamiento entre las capas o exudación de ligante en la superficie del firme.
- d) El sistema de aplicación. Salvo en zonas de muy pequeña extensión o inaccesibles, deben emplearse siempre equipos mecanizados con sistemas de control de la dotación, capaces de crear películas continuas y uniformes, sin heterogeneidad en las dotaciones y sin discontinuidad en la aplicación.
- e) Las medidas de protección. No es suficiente con extender una emulsión y esperar a que se produzca su rotura, sino que es necesario comprobar que los vehículos que van a circular sobre la superficie tratada o que van a trabajar sobre ella (extendedoras, silos de transferencia y camiones) no dañan el riego. La forma más habitual de daño, que se tiende a aceptar como inevitable, es que parte de la dotación del ligante se pierde adherida a los neumáticos de los equipos de trabajo. Esta circunstancia puede corregirse empleando emulsiones termoadherentes (excepto en mezclas en frío o templadas) fabricadas con betunes más consistentes (viscosos), cuyos ligantes residuales presentan menor pegajosidad, o también mediante la aplicación de la emulsión por medio de una extendidora con sistema de riego incorporado.

En situaciones donde la temperatura del firme y la de los neumáticos de los camiones es muy elevada, y el ligante residual de la emulsión termoadherente pudiera comenzar a tener pegajosidad (tack), existen tecnologías complementarias como el empleo de lechadas de cal, aplicadas sobre el riego de adherencia, una vez rota la emulsión, que evitan este problema. Este efecto se debe a una menor captación de calor debido el color blanco de la cal depositada y la existencia de una interfase no adhesiva [13].

3. TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS EMULSIONES RECOMENDADAS

Para favorecer las operaciones de puesta en obra, las emulsiones empleadas en riegos de adherencia son catiónicas de rotura rápida (Clase 2 o 3), con el fin de que, una vez aplicada, la separación de agua y betún se produzca lo más rápidamente posible.

En función de dichos criterios, se pueden utilizar los tipos de emulsiones recogidos en la tabla 1:

*Tabla 1. Emulsiones bituminosas para riegos de adherencia
(Artículo 531 del PG-3)*

Emulsiones bituminosas convencionales
C60B3 TER (*)
C60B3 ADH (*)
Emulsiones bituminosas modificadas
C60BP3 TER (*)
C60BP3 ADH (*)

(*) En caso de que el riego se ejecute en tiempo frío, en lugar de emulsiones con índice de rotura clase 3 (70-155), se recomienda emplear la clase 2 (< 110), de acuerdo con el artículo 214 del PG-3.

Equivalencia de denominaciones: C60B3 TER (antigua ECR-1 termoadherente), C60B3 ADH (antigua ECR 1), C60BP3 TER (antigua ECR 1m termoadherente) y C60BP3 ADH (antigua ECR-1m).

El mecanismo químico de la rotura de la emulsión se inicia en el momento en el que esta entra en contacto con una superficie. Entonces se produce una absorción parcial del agua y del emulsionante libre aumentando la concentración de las micelas y produciéndose la desestabilización de la emulsión. La rotura de la emulsión se traduce visualmente en el paso de un color marrón oscuro, típico de la emulsión, a un color negro, típico del betún.

La temperatura habitual de aplicación de las emulsiones para riegos de adherencia está comprendida entre 20 y 60 °C. Temperaturas más elevadas podrían incidir negativamente en la estabilidad de la emulsión. Adicionalmente, estas emulsiones han de tener suficiente estabilidad al almacenamiento, y las posibles tendencias a la sedimentación del ligante deben poder ser recuperadas mediante agitación.

El ligante residual debe poder soportar los esfuerzos generados en la interfaz entre capas. Su susceptibilidad térmica ha de ser la adecuada, de manera que a temperaturas elevadas no se produzca un reblandecimiento que provoque desplazamiento entre las capas, y que a temperaturas bajas no se fragilice en exceso dando lugar a microfisuras por retracción térmica, en especial en capas delgadas y ultradelgadas, iniciándose en ambos casos determinados deterioros en el firme. Para evitarlo se deben emplear emulsiones modificadas con polímeros.

Para la elección del riego de adherencia hay que tener en cuenta la macrotextura de la mezcla y del soporte.

En el caso de:

- superficie efectiva de contacto muy limitada (mezcla discontinua sobre mezcla discontinua), y
- soportes con macrotextura y microtextura muy reducida (superficies envejecidas y pulimentadas),

se recomienda el uso de emulsiones termoadherentes modificadas.

En zonas climáticas frías se recomienda evaluar la conveniencia del empleo de emulsiones modificadas o termoadherentes modificadas.

Otro parámetro a considerar para una correcta elección del tipo de emulsión bituminosa es la propia temperatura de la mezcla bituminosa. El fenómeno físico que hace que dos capas de mezcla bituminosa queden adheridas mediante un riego de adherencia es que la temperatura de la mezcla a extender sea superior al punto de reblandecimiento del ligante residual de la emulsión o que este presente la suficiente pegajosidad a temperatura ambiente.

Para mezclas bituminosas calientes y semicalientes se pueden emplear cualquiera de las emulsiones anteriormente indicadas.

Para mezclas en frío o templadas, las más adecuadas son del tipo:

- convencionales: C60B2 ADH, C60B3 ADH o
- modificadas: C60BP2 ADH, C60BP3 ADH,

no recomendándose el empleo de emulsiones termoadherentes.

4. MAQUINARIA

Para poder realizar correctamente los riegos de adherencia es necesario disponer de una maquinaria que pueda realizar estos trabajos de forma fiable.

En este apartado se describen algunos de los equipos empleados en obra y cuáles han de ser sus características en función de los trabajos a realizar, teniendo en cuenta la superficie a tratar y las posibles limitaciones o puntos críticos que se pueden presentar. Los equipos se van a dividir en dos grandes grupos: los utilizados en la preparación de la superficie existente (limpieza) y los empleados para la aplicación del riego de adherencia.

4.1. EQUIPOS/ÚTILES DE LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE A TRATAR

Dentro de este grupo podemos encontrar equipos muy diversos: minicargadoras con equipos de barrido (minibarredoras), barredoras adaptables a maquinaria de obra, cepillos remolcados, camiones aspiradora, hidrolimpiadoras, etc., que se describen en los siguientes apartados.

4.1.1. Minicargadoras con implementación de equipos de barrido (minibarredora)

Las minicargadoras con los accesorios de cucharón y cepillo (minibarredoras) son adecuadas para el barrido y limpieza de las superficies a regar en una primera fase del proceso, pudiendo eliminar materiales granulares sueltos y/o materiales procedentes del fresado, recogiendo y retirándolos de la superficie (figura 3).

Las cerdas de los cepillos pueden ser de polipropileno, de cable o de varillas de acero. La experiencia en obra demuestra que los cepillos metálicos tienen una mayor durabilidad que los de fibras sintéticas.

Se podría considerar que su rendimiento es adecuado para reparaciones pequeñas y obras con superficies a pavimentar inferiores a 3.500 m².

La principal limitación de este tipo de herramienta es que necesita varias pasadas para retirar el material y puede dejar sobre la superficie del pavimento barrido algo de polvo, especialmente cuando dicha limpieza se realiza sobre una superficie fresada con material húmedo.



Figura 3. Minicargadora con implementación de equipo de barrido (minibarredora)

4.1.2. *Barredora cucharón para implementar en maquinaria de obra*

Este tipo de accesorios parte del mismo concepto que el grupo anterior, pero con la diferencia de que puede implementarse en maquinaria pesada de obra, lo que puede aportar un mayor rendimiento y ser aplicado a obras de mayor volumen (figura 4).

Se podría considerar que su rendimiento es adecuado tanto para reparaciones pequeñas como para obras con superficies a pavimentar superiores a 3.500 m².



Figura 4. Barredoras cucharón

4.1.3. *Barredora remolcada*

Este tipo de accesorios son aquellos que pueden ser implementados a un sistema tractor genérico y presentan una característica diferencial con respecto a los sistemas anteriores, ya que la recogida del material no está implícita en el proceso de barrido (figura 5).

Su denominación técnica más precisa es barredora orientable o angulable y consiste en un sistema de cepillo flotante con acoplamiento a una máquina portante (generalmente arrastrados, aunque actualmente también pueden ser frontales), que gracias al sistema de orientación (ajustable hidráulicamente) es capaz de barrer una superficie expulsando los elementos hacia uno de los laterales gracias al ángulo que presenta con respecto al eje de barrido.

El sistema funciona por transmisión directa con unas ruedas ajustables en altura con cepillos que suelen ser de polipropileno o de varillas de acero, de 600 mm de diámetro y diversos anchos de barrido. De manera opcional también se pueden incorporar cepillos laterales y sistemas de riego para evitar la formación de polvo.

Debido al propio sistema de cepillado, este tipo de maquinaria es recomendable para trabajos longitudinales donde no se precise un cepillado enérgico y donde se disponga de una cuneta o arcén lateral donde dejar depositado el material barrido. Pueden presentar un gran rendimiento debido a la posibilidad de montar un carro de un ancho considerable, de hasta

2,4 m, siendo especialmente útil en carreteras secundarias donde el objetivo es la limpieza superficial de la calzada desplazando los elementos hacia su parte exterior.

La principal desventaja, por tanto, es la imposibilidad de recoger el material durante el proceso de barrido.



Figura 5. Barredoras Angulares

4.1.4. Camiones barredora-aspiradora

Este tipo de equipo se caracteriza por tener la posibilidad de aspirar la superficie, además de barrer mediante los cepillos laterales. Existen diferentes tipos de máquinas en el mercado, pudiendo seleccionarse, en función del tipo de trabajo a ejecutar, la barredora-aspiradora más adecuada, eligiendo su tamaño, su capacidad de succión o su capacidad de almacenamiento (figura 6).

Este tipo de máquina puede aplicarse en obras con necesidad de elevados rendimientos y donde el barrido tradicional no tenga la capacidad de eliminar el polvo existente en la superficie de forma adecuada. Puede ser especialmente indicada en obras de mantenimiento en las que existe una superficie fresada, donde el polvo generado por el propio fresado es difícil de eliminar sin aspiración.

La principal limitación de este tipo de maquinaria es su capacidad de almacenamiento, que debe ser seleccionada entre las existentes en función del tipo de trabajo a realizar.



Figura 6: Camión barredora-aspiradora

4.1.5. Hidrolimpiadoras

Las hidrolimpiadoras son máquinas que bombean agua a alta velocidad a través de una tobera para la limpieza de superficies con un chorro de agua a alta presión (figura 7).

Este equipo está especialmente indicado para la limpieza de superficies en las que existe material adherido que el barrido convencional no es capaz de eliminar. Por lo general se emplea en pequeñas superficies y/o puntos localizados.

Entre los puntos a tener en cuenta en su utilización hay que destacar el suministro de agua al equipo, la retirada del material adherido una vez que ha sido despegado de la superficie y que tras su limpieza esta queda humedecida, lo que podría afectar al resto del proceso.



Figura 7. Hidrolimpiadoras.

4.1.6. Camiones de hidrodesebaste

Este equipo de ultra-alta presión (hasta 3.000 bares) va instalado sobre un camión y dispone de un cabezal con inyectores de agua giratorios que permite realizar la limpieza y retexturización del pavimento mediante agua a ultra-alta presión (figura 8).

Al igual que la hidrolimpiadora, este equipo está especialmente indicado para la limpieza de superficies con material adherido que mediante el barrido convencional no es eliminado, pudiéndose emplear en grandes superficies.

Es un equipo de alto rendimiento con el que es posible retirar el material adherido al soporte mediante la recirculación de su sistema de abastecimiento al cabezal, con lo que, además, se consigue minimizar el consumo de agua.

Es necesario prestar atención a la presión, al ángulo de incidencia y a la velocidad de avance del equipo para evitar posibles deterioros en la superficie a tratar.



Figura 8. Camión de hidrodesebaste.

Además de toda la maquinaria anteriormente descrita, puede ser necesario, en función del tipo de trabajo a realizar, el empleo de herramientas de mano, que permitan realizar ciertos trabajos de limpieza que no pueden ejecutarse mediante la maquinaria citada (por ejemplo, la limpieza en zonas cercanas a barreras de seguridad, o en los extremos de superficies fresadas).

Cepillos manuales para barrido, palas para retirada de materiales granulares y otro equipamiento similar son de gran utilidad para determinados trabajos para la limpieza de la superficie en tales circunstancias.

4.1.7. Cuadro resumen

Tipo de actuación	Superficie de la actuación	Procedimiento o maquinaria aconsejable
Vías urbanas con obstáculos y rincones, con pavimento asfáltico o de hormigón.	Menor de 500 m ²	Medios manuales y/o minibarredora con cerdas de polipropileno o cable.
	Mayor de 500 m ²	a) Medios manuales y/o minibarredora con cerdas de polipropileno, varilla de acero o cable. b) Camión barredora aspiradora.
Vías interurbanas, carreteras y autopistas con pavimento asfáltico.	Menor de 3.500 m ²	Minibarredora con cerdas de polipropileno, cable o varilla de
	Mayor de 3.500 m ²	a) Barredora cucharón, con cerdas de cable o varilla de acero. b) Camión barredora aspiradora.
Vías interurbanas, carreteras y autopistas con pavimento de hormigón y/o superficie fresada.	Menor de 3.500 m ²	Minibarredora con cerdas de cable.
	Mayor de 3.500 m ²	a) Barredora cucharón con cerdas de cable. b) Camión barredora aspiradora.
Suelos, suelos estabilizados o zahorras.	Menor de 500 m ²	Medios manuales o minibarredora con cerdas de polipropileno.
	Mayor de 500 m ²	Minibarredora con cerdas de polipropileno.
Superficies especiales con polvo muy fino o suciedad incrustada.	Menor de 500 m ²	Hidrolimpiadoras y maquinaria con aspiración.
	Mayor de 500 m ²	Camión barredora aspiradora o camión de hidrodesebaste.

- (1) La experiencia en obra demuestra que los cepillos metálicos tienen una mayor durabilidad que los de fibras sintéticas.

4.2. EQUIPOS DE RIEGO

4.2.1. Cisterna con rampa de riego

Las cisternas con rampa de riego suelen tener una capacidad variable entre 5.000 y 25.000 litros, e ir calorifugadas y/o calefactadas, para que las pérdidas de temperatura en el transporte no superen de media los 2 °C/hora (Figura 9).



Figura 9. Cisterna con rampa de riego.

Las cisternas con rampa de riego suelen tener una capacidad variable entre 5.000 y 25.000 litros, e ir calorifugadas y/o calefactadas para que las pérdidas de temperatura en el transporte no superen de media los 2 °C/h (figura 9).

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 sean exigidos en la reglamentación vigente para la aplicación y el transporte de este tipo de productos. Conviene recordar que, aunque la emulsión no está contemplada dentro de la reglamentación ADR de mercancías peligrosas y perecederas, ello no supone que no se deban tener unas precauciones mínimas en su transporte y manipulación.

Las cisternas deben estar dotadas de una rampa de riego abatible, con capacidad para ser regulada en altura para poder asegurar una extensión uniforme en toda la superficie.

Una de las principales cuestiones que asegura la calidad del riego es la capacidad de la cisterna de garantizar una dosificación homogénea, por lo que es muy importante que disponga de un control de la velocidad coordinado con el control de caudal.

Para la aplicación de la emulsión a través de la rampa de pulverización los sistemas más usuales son los de:

- presión constante,
- volumen constante,
- dosificación constante.

El sistema de dosificación constante es el más moderno, y su mayor interés reside en la independencia de la dosificación con la velocidad de avance de la unidad tractora (figura 10).

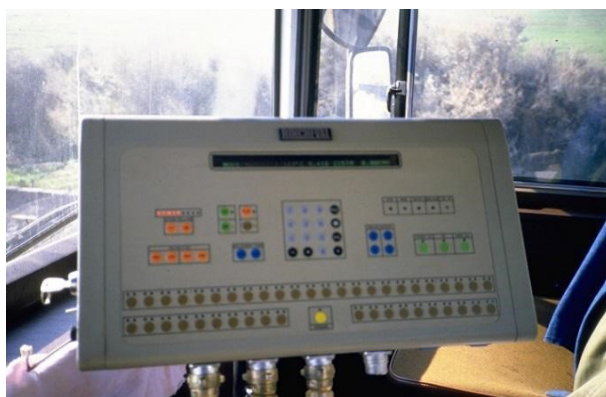


Figura 10. Control automatizado del riego

A pesar de que la mayoría de los trabajos deben realizarse con la rampa de riego, es necesario que la cisterna posea una lanza de riego manual para aquellas zonas donde la rampa no pueda realizar el riego de forma adecuada. Este tipo de trabajo manual debe realizarse por personal experto y únicamente en zonas donde el riego solo pueda ejecutarse de esta forma.

4.2.2. *Extendedoras con riego incorporado*

Existen en el mercado equipos que integran sistemas de riego en la extendidora con el fin de realizar de forma simultánea las operaciones de riego y extendido. La aplicación de esta tecnología persigue como objetivo evitar la pérdida del riego de adherencia por el paso de vehículos de obra, al ser la propia extendidora la que realiza la aplicación del riego de adherencia y de la mezcla asfáltica. El sistema ofrece por tanto una gran mejora, ya que permite la elección y aplicación de emulsiones con distintas prestaciones, que pueden ser susceptibles al paso del tráfico y que en otras condiciones requerirían algún tipo de protección y por tanto condicionarían las características finales del ligante de adherencia.

Dada las características del equipo de aplicación se recomienda el uso de emulsiones de rotura muy rápida y con el menor contenido de agua posible.

Por otro lado, el reducido lapso de tiempo comprendido entre la aplicación del riego y su rotura minimiza el riesgo de fluencia del riego. De esta manera es posible la aplicación de dotaciones controladas y homogéneas en el caso de perfiles con pendientes considerables o dotaciones elevadas.

En la figura 11 puede verse el diseño de un equipo de extendido de última generación incorporando esta solución. En este caso concreto, la emulsión se encuentra almacenada en un depósito en la parte superior de la extendidora (punto 1 de la figura) donde puede ser calentada hasta la temperatura de trabajo y bombeada hacia los puntos de aplicación distribuidos en tres localizaciones diferentes. La primera de ellas se encuentra en una rampa localizada en la parte delantera de la extendidora entre las dos orugas (punto 4 de la figura). La superficie correspondiente a las dos orugas se riega por su parte posterior (punto 2 de la figura) de manera que nunca transitan por encima del riego. Por último, la superficie correspondiente a las extensiones se riega mediante rampas móviles que se encuentran a ambos lados de la extendidora (punto 3 en la figura).



Figura 11. Extendidora con riego incorporado. Fuente: Voëgle

Todo este sistema se controla desde una pantalla en la extendedora (parte superior derecha de la figura) que ofrece una monitorización del proceso de riego a tiempo real de cada uno de los puntos de aplicación.

Para las barras de riego existen diferentes tamaños de toberas que ofrecen diferente caudal para ser adaptado en función de la necesidad de la obra (figura 12). Además, en el caso del ejemplo expuesto, no riegan de manera continua, sino por impulsos que se ajustan automáticamente en función de la velocidad de aplicación y de la anchura del extendido.

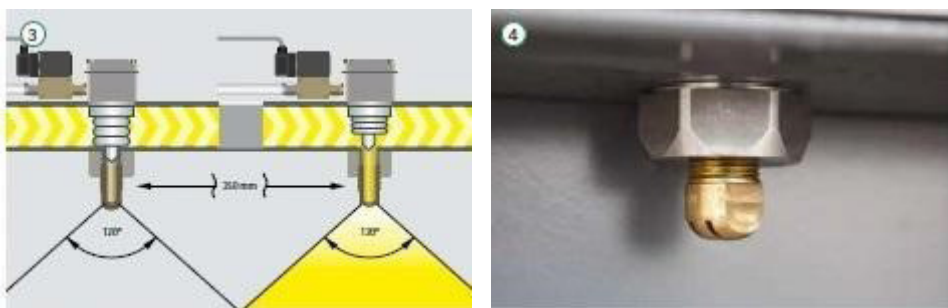


Figura 12. Toberas de riego. Fuente: Vögele

Al contrario que en los sistemas precedentes, estos desarrollos de última generación permiten un control y verificación individualizada de los difusores.

La técnica funciona con la premisa de que la emulsión es sometida a un rápido proceso de rotura por evaporación por contacto con la mezcla en caliente. En consecuencia, tiene lugar la formación de una nube de vapor de agua que avanza progresivamente al ritmo de aplicación de la mezcla (figura 13).

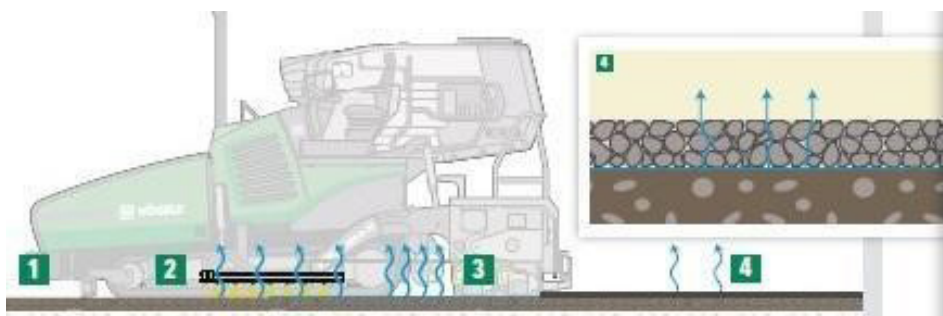


Figura 13. Proceso de riego. Fuente: Vögele

Existen diferentes cuestiones, tanto mecánicas como técnicas, a tener en cuenta en la aplicación de esta tecnología:

- Desde el punto de vista mecánico, es fundamental que la máquina esté en perfecto estado de funcionamiento, con las toberas revisadas y limpias para evitar posibles obstrucciones que puedan generar zonas sin riego, y sin goteos que, en las paradas de máquina, puedan generar acumulaciones de emulsión.
- Desde el punto de vista técnico, hay que considerar que la evaporación del agua de la emulsión produce una bajada en la temperatura de la mezcla que se extiende, lo que hay que tener en cuenta a la hora de escoger el tipo de betún utilizado o ajustando la temperatura de la mezcla para garantizar un comportamiento adecuado de esta en los casos en que se requiera proceso de compactación, no siendo necesario en los casos que solamente requieran recolocación o simple acabado.

Otra consideración adicional está relacionada con el tipo de mezcla a extender y su porosidad. La elección del tipo de emulsión será la adecuada para los tipos de mezcla que debido a su composición contienen un muy bajo contenido de huecos o cierta impermeabilidad, con el fin de garantizar la adherencia entre las capas.

En el caso de las mezclas templadas, que son aplicadas a temperaturas inferiores a 100 °C, hay que prestar especial atención a la selección de las emulsiones adecuadas para que puedan activarse a bajas temperaturas, de manera que el contenido residual de agua y la menor temperatura no afecte a la adherencia entre capas.

5. BUENAS PRÁCTICAS GENERALES PARA UNA CORRECTA PUESTA EN OBRA

La elección del tipo de emulsión para el riego de adherencia es clave para su éxito. Tanto en las emulsiones convencionales como en las modificadas, existe la opción de usar betunes de mayor viscosidad (menor penetración), como las emulsiones termoadherentes (TER). Estas emulsiones son menos susceptibles de adherirse a los neumáticos de los vehículos de obra.

5.1 ELECCIÓN DEL TIPO DE LIGANTE

La especificación española (artículo 531 del PG-3) identifica varios criterios para elegir el tipo de ligante:

- La magnitud de las cargas del tráfico: prescribiéndose el empleo de emulsiones modificadas cuando la magnitud del tráfico pesado es elevada ($IMDp > 800$) y se trata de capas de rodadura de los tipos drenante o discontinua.
- La temperatura ambiente: en el caso de clima frío se recomienda usar emulsiones de rotura más rápida.

5.2 DOSIFICACIÓN DEL LIGANTE

Debe aplicarse la dotación adecuada de riego de adherencia; la insuficiencia de ligante residual provocará un fallo de las diversas capas de firme afectadas por la falta de funcionamiento solidario, mientras que el exceso, especialmente crítico en las capas de rodadura, puede dar lugar a deslizamientos de la capa superior o a exudaciones y deformaciones plásticas.

Según indica el artículo 531 del PG-3, la dotación de ligante residual no debe ser nunca inferior a 200 g/m^2 , aumentándose este límite hasta los 250 g/m^2 cuando la capa superior sea una capa de rodadura del tipo discontinua (BBTM) o drenante (PA), o bien una mezcla tipo hormigón bituminoso (AC) empleada como rehabilitación superficial de una carretera en servicio.

A nivel mundial, y según la encuesta realizada por la International Bitumen Emulsion Federation (IBEF) en 2013, las dotaciones de ligante residual se encuentran en el rango de 120 a 400 g/m^2 . En el caso particular de España, según los datos de que dispone la Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas (ATEB), el rango se encontraría entre 200 y 400 g/m^2 .

Según un estudio realizado por la Agrupación de Laboratorios de Entidades Asociadas a ASE-FMA (ALEAS), las dotaciones mínimas de ligante residual recomendadas y sus tolerancias son las que se relacionan a continuación.

Dotaciones mínimas:

- Para todos los casos de obra nueva y recrecimiento, indistinto del tipo de mezcla y capa, 300 g/m^2 .
- En el caso de rehabilitación, indistinto del tipo de mezcla y capa, 400 g/m^2 .

Tolerancias a la dotación:

- Para los casos de obra nueva y recrecimiento, -10 % y +40 % sobre 300 g/m² (270-420).
- Para los casos de rehabilitación, -10 % y +30 % sobre 400 g/m² (360-520).

A la hora de definir la dosificación de ligante más adecuada se han de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los pavimentos envejecidos suelen tener una mayor capacidad de admitir emulsión que los pavimentos nuevos. De la misma manera, los pavimentos de hormigón también tienen una mayor capacidad de absorción.
- Si el pavimento presenta fisuración debe considerarse un incremento de dotación a fin de garantizar un contenido de ligante residual efectivo suficiente.
- Es importante tener en cuenta la macrotextura (positiva o negativa) del pavimento sobre el que se va a aplicar el riego de adherencia.
- En el caso de extensión de mezclas bituminosas sobre pavimentos fresados hay que tener en cuenta lo siguiente:
 - o El aumento de la superficie efectiva (al aparecer crestas y valles donde antes había una superficie plana) debería conducir a una mayor dotación de ligante.
 - o La presencia de una pequeña cantidad de polvo se puede compensar con un incremento en la dotación de riego de adherencia, pero cantidades excesivas de polvo impiden el acceso de la emulsión hasta la superficie del pavimento fresado, originando una capa de mástico que se adhiere fácilmente a los neumáticos de los vehículos de obra.
 - o Cuando se emplean fresadoras con tambores con poca densidad de picas, los valles quedan muy marcados y la emulsión se acumula en ellos, dificultando el proceso de rotura. En estos casos se debería emplear una menor dotación de ligante (del orden de un 15 % menos sobre la recomendada).

5.3 ALMACENAMIENTO DE LA EMULSIÓN

Habitualmente, el almacenamiento de la emulsión se realiza en el camión de riego, salvo en obras de gran tamaño, en las que se suele disponer de tanques nodriza.

Las emulsiones diseñadas para su uso en los riegos de adherencia están formuladas de forma que el nivel de sedimentación del betún sea lo más reducido posible. Sin embargo, las paradas prolongadas de la obra pueden hacer que la sedimentación de la emulsión genere falta de homogeneidad del betún residual sobre la superficie a regar. Por ello, es adecuado que tanto los tanques de almacenamiento como los camiones regadores dispongan de un sistema de recirculación para homogeneizar la emulsión que almacenan.

En el caso de las emulsiones termoadherentes, en las que los betunes utilizados tienen una mayor viscosidad, los pequeños residuos de betún sedimentado pueden generar obstrucciones en las boquillas de las rampas de riego. Estas obstrucciones se pueden minimizar calentando moderadamente la emulsión (hasta 60 °C), por lo que es muy recomendable que los camiones de riego que se utilicen dispongan de un sistema de calentamiento y de un sistema para el soplado/vaciado de la rampa y las boquillas tras haber concluido los trabajos.

5.4 LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE

En todo proceso de adhesión resulta esencial que las superficies que han de ser pegadas estén limpias de impurezas que puedan generar una pérdida de adhesión entre la capa soporte y el riego.

En el caso de los riegos de adherencia, la contaminación de la superficie del soporte puede ser causada por los siguientes factores.

a) *Existencia de tierra adherida a la superficie.*

Este problema, típico de carreteras en zonas rurales, de zonas próximas a donde se están llevando a cabo obras, salidas de canteras/graveras, accesos desde caminos no pavimentados, etc., que puede parecer fácil de solucionar, no lo es en la práctica, ya que los restos de tierra suelen estar firmemente adheridos y su eliminación puede requerir el uso de barredoras especiales o de agua a presión (figuras 14 y 15). Como esta unidad de obra suele requerir bastantes horas de personal y recursos materiales y no suele estar adecuadamente valorada en el proyecto, se tiende a solucionarlo con la inaceptable práctica de tapar el problema de la manera más sencilla y cómoda posible: aplicando la emulsión directamente sobre estos pegotes adheridos con la consiguiente merma en la durabilidad del firme.

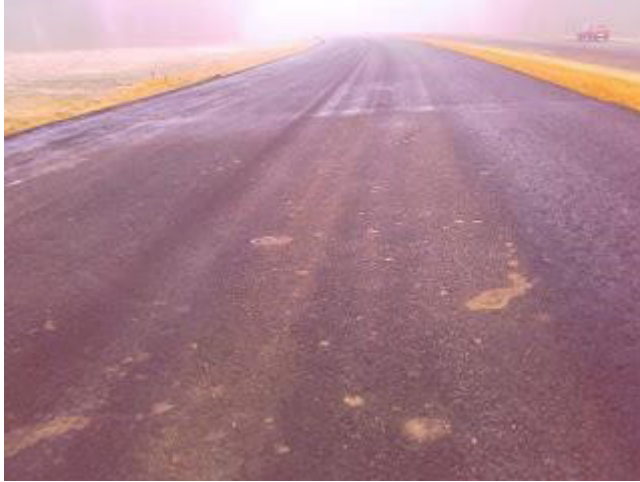


Figura 14. Tierra adherida a la superficie
Fuente: Blog Motores y carreteras

Una variante de este caso es la suciedad arrastrada en las propias obras, especialmente en el caso de nueva construcción, en las que se simultanean trabajos sobre tierras con trabajos de pavimentación.



Figura 15. Tierra adherida al pavimento
Fuente: Blog Motores y carreteras

b) Polvo procedente de las operaciones de fresado.

Tras la realización de las operaciones de fresado, la eliminación de los restos generados se suele realizar mediante minicargadora con implementación de barrido que difícilmente proporciona una limpieza adecuada, permitiendo que una cantidad importante de polvo permanezca sobre el soporte recién fresado (figura 16).



Figura 16. Minicargadora con implementación de equipo de barrido
Fuente: Blog Motores y carreteras

Cuando la cantidad de polvo es importante, al aplicar el riego de adherencia se generan los problemas citados en el apartado 5.2 (formación de capa de mástico que se adhiere fácilmente a los neumáticos de los vehículos de obra). Por lo tanto, es necesario el uso de maquinaria adecuada (vehículos con aspiración) que permita la eliminación del polvo producido en la operación de fresado. Además, los restos de polvo con betún del riego de adherencia que se pegan a los vehículos de obra pueden ser transferidos a otras zonas de la obra, generando un deterioro en cadena: zonas sin riego junto a zonas con pegotes de mástico que generarán fallos prematuros en el pavimento.

5.5 APLICACIÓN DEL RIEGO DE ADHERENCIA

Durante muchos años el modo de aplicación del riego de adherencia ha sido la causa fundamental de la falta de homogeneidad. El uso de equipos manuales de riego (figura 17) ha sido, habitualmente, la principal mala práctica en la ejecución. Por esta razón, el empleo de sistemas manuales debe limitarse exclusivamente a zonas no accesibles a las rampas regadoras o pequeñas reparaciones.



Figura 17: Aplicación del riego de adherencia mediante lanza
Fuente: Blog Motores y carreteras

Hoy en día muchos camiones de riego disponen de sistemas computarizados que controlan el flujo en las boquillas de la rampa de riego proporcionando gran exactitud en las dosificaciones, y de rampas telescópicas.

El correcto funcionamiento y solape de los difusores de emulsión es básico para alcanzar un riego de calidad. La altura, la posición, el tipo y la alineación de las boquillas son aspectos fundamentales que han de ser controlados periódicamente (figura 18). Es recomendable el calibrado periódico del sistema de dosificación, pudiendo utilizarse los métodos aplicados para los tratamientos superficiales.

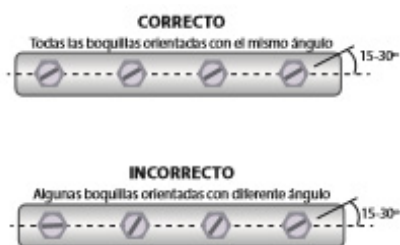


Figura 8. Alineamiento y ángulo de boquillas
Fuente: RCI 1991, 2012



Figura 9. Efecto orientación de boquillas en riego de liga
Fuente: Asphalt Institute, 2014

Figura 18. Alineación de los difusores de la rampa de riego
Fuente: Manual buenas prácticas constructivas en la aplicación de riegos de liga (Universidad de Costa Rica y LanammeUCR)

El uso de extendedoras con rampas integradas para aplicar el riego de adherencia puede resolver el problema de que el tráfico de obra pueda alterar su calidad, con la única condición de verificar su correcto funcionamiento durante las obras.

Dependiendo del sistema de bombeo y control del camión regador, la regularidad de la dosificación se puede ver afectada por la viscosidad de la emulsión. Por ello, suele ser aconsejable mantenerla a una temperatura moderada (60 °C) ya que de esta manera se minimiza el riesgo de obstrucción de las boquillas por causa de los sedimentos de la emulsión y se favorece la rotura de la emulsión y la evaporación del agua. En épocas calurosas esta medida puede ser contraproducente al aumentar la pegajosidad del ligante residual.

El tráfico de obra no podrá circular por encima del riego de adherencia hasta que la emulsión haya roto. En tramos cortos no continuos de conservación del pavimento, la coordinación entre los trabajos de fresado, aplicación del riego y extensión de la mezcla bituminosa puede ser especialmente compleja por la falta de espacio físico y la premura necesaria para reducir al mínimo el tiempo de corte de los carriles afectados.

5.6 CONDICIONANTES CLIMATOLÓGICOS EN LA EJECUCIÓN DE RIEGOS DE ADHERENCIA

El riego de adherencia solo se podrá aplicar cuando la temperatura ambiente sea superior a diez grados Celsius ($>10\text{ }^{\circ}\text{C}$) y no exista riesgo de precipitaciones atmosféricas. Dicho límite se puede rebajar, a juicio de la Dirección de las Obras, a cinco grados Celsius ($>5\text{ }^{\circ}\text{C}$) si la temperatura ambiente tiende a aumentar. La aplicación del riego de adherencia se debe coordinar con la puesta en obra de la capa bituminosa superpuesta, de manera que antes de la colocación de la capa, se haya producido la rotura de la emulsión bituminosa, prohibiendo todo tipo de circulación sobre el riego de adherencia hasta que se haya producido la rotura de la emulsión en toda la superficie aplicada.

En ningún caso podrá aplicarse el riego de adherencia cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas.

6. CAMPOS DE APLICACIÓN

6.1 EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN FIRME BITUMINOSO

La adecuada planificación en la ejecución de las diversas unidades de obra es clave, para que la superficie donde se va a realizar el riego de adherencia no se ensucie y esté totalmente limpia.

6.2 EN ACTUACIONES DE REFUERZO DEL FIRME

Las dotaciones habituales del riego de adherencia suelen ser más elevadas, respecto a un firme bituminoso de nueva construcción.

En el caso de superficies muy lisas y pulidas se debe de considerar una dosificación específica para cada caso, especialmente si la nueva capa es delgada, siendo recomendable el empleo de emulsiones modificadas.

La presencia en la superficie de áreas con una macrotextura muy gruesa, síntoma de una segregación de la capa y de una mayor permeabilidad, indica la conveniencia de una dotación diferenciada en ellas.

6.3 EN ACTUACIONES DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE FRESADO Y REPOSICIÓN

Se debe prestar mucha atención a las situaciones que suponen un riesgo de fallo de la adherencia y deterioro prematuro del firme, ligadas, por una parte, al estado de la superficie fresada y a su limpieza y, por otro, a condicionantes del tráfico que suelen introducir una escasa disponibilidad de espacio y tiempo entre la operación de fresado y la de extendido de la mezcla.

El empleo de extendedoras con rampa de riego reduce el número de equipos necesarios lo que permite optimizar el espacio de trabajo disponible, por lo que puede hacer más idónea su aplicación.

6.4 EN ACTUACIONES DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE RECICLADO CON EMULSIÓN

Sobre reciclados con emulsión ejecutados in situ, la aplicación del riego de adherencia no debe realizarse antes de que haya pasado el tiempo de maduración de la mezcla (que normalmente coincide con el momento en que es posible extraer testigos).

En el caso de los reciclados en central con emulsión, como riego de adherencia previo a la colocación de la mezcla reciclada se debe aplicar preferiblemente una emulsión modificada, pero en ningún caso debe utilizarse una termoadherente.

6.5 EN ACTUACIONES DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE RECICLADO CON CEMENTO

Puede darse la circunstancia de que bajo el riego de curado exista una cierta concentración de finos superficiales originados en el proceso de compactación vibratoria, que al combinarse con el riego de curado forman una lámina delgada no adherida al soporte. Esa falta de unión hace que sea deseable su eliminación, para lo cual una pasada de barredora con cepillo metálico suele bastar para detectar y levantar esas zonas desechables, antes de la aplicación del riego de adherencia.

6.6 EN ACTUACIONES DE REHABILITACIÓN SUPERFICIAL

En este tipo de actuaciones está muy indicado aplicar emulsiones termoadherentes como riego de adherencia. Igualmente es muy adecuado aplicar el riego de adherencia mediante extendedoras con rampa de riego, ya que optimizan el espacio de trabajo disponible.

6.7 EN ACTUACIONES DE REPARACIÓN

En baches, reposiciones de zanjas y calas, los bordes perimetrales deben presentar un corte recto y vertical, y limpiarse para asegurar que no hay presencia de polvo en ellos; la adhesión de la nueva mezcla a ellos debe asegurar su impermeabilidad.

En las juntas se precisa una dotación rica del ligante de adherencia, siendo la mejor práctica la de aplicarlo en dos veces. Una solución complementaria, y muy adecuada, para asegurar la impermeabilidad de la junta es la de realizar un sellado con ponteado de los bordes perimetrales de la actuación.

6.8 EN FIRMES URBANOS

El elemento diferenciador es el factor ciudad: cualquier operación a realizar en el entorno urbano necesita una elevada previsión y planificación, así como una estrecha coordinación con la movilidad circundante, ya que puede afectar de manera importante al rendimiento de las operaciones y la seguridad con la que deben ser realizadas.

Se debe eliminar la señalización horizontal, especialmente los cebreados y aquellas superficies que presenten acumulación de pintura u otro elemento semejante. Estos puntos suelen ser foco de muchos de los defectos encontrados posteriormente por falta de adherencia entre las capas.

6.9 SOBRE MATERIALES TRATADOS CON CONGLOMERANTES HIDRÁULICOS

Asegurando una buena adherencia se reducen las tracciones en la parte inferior de la base. Si, por el contrario, la adherencia es deficiente, "se producen tensiones y deformaciones de tracción en la parte inferior de las mezclas bituminosas, las cuales suelen alcanzar en general valores importantes por el pequeño espesor de dichas capas" [3].

Sobre un riego de curado no puede transitar maquinaria pesada como la del extendido hasta pasados al menos 7 días. Durante estos 7 días el riego de curado se contamina con polvo y partículas y pierde la adherencia que pudiese tener, por lo que es necesario retirarlo para conseguir una superficie apropiada para el riego de adherencia.

6.10 EN JUNTAS

Lo deseable es poder construir cada capa del firme de forma continua, evitando la existencia de juntas de trabajo que suponen una discontinuidad que puede alterar su funcionamiento y comportamiento.

Al aplicar el riego de adherencia debe obtenerse una película de ligante gruesa en el plano de la junta de modo que, además de adherir las capas, asegure su impermeabilidad y contribuya a absorber movimientos de retracción en la junta sin fisurarse. Una forma de conseguir esta película gruesa es mediante una doble aplicación de riego de adherencia sobre la junta, aunque existen otros métodos como el empleo de másticos.

7 CONTROL DE CALIDAD

Para el control de calidad de la unidad de obra es preciso poner atención en los siguientes aspectos:

- La conformidad de los materiales empleados con las especificaciones mediante la toma de muestras de la emulsión.
- La dosificación del ligante.
- La uniformidad en la distribución del ligante.

La emulsión bituminosa deberá cumplir las especificaciones establecidas en el artículo 214 del PG-3 sobre recepción e identificación. Igualmente cumplirá con lo especificado en el control de calidad.

La normativa española, entre ellas el PG-3, indica valores mínimos de dotaciones de ligante residual, lo que genera una cierta incertidumbre, ya que una dotación excesiva también puede generar un comportamiento inadecuado del riego de adherencia, provocando deslizamiento de capas, exudaciones o un curado ralentizado que impide el paso del tráfico de obra. Las dotaciones recomendadas que se recogen en el estudio de ALEAS previamente citado suponen la mejor referencia disponible actualmente.

Para verificar la dotación de ligante residual aplicado se seguirá lo establecido en la norma UNE EN 12272-1 referente a Tratamientos superficiales. Métodos de ensayo. Parte 1: Índice y regularidad de la dispersión del ligante y de las gravillas.

El ensayo NLT 382/08 Evaluación de la adherencia entre capas de firme, mediante el ensayo de corte permite obtener la resistencia a cortante entre capas unidas por un riego y, además, en el artículo 531 del PG-3 Riegos de adherencia se incluyen especificaciones de valores mínimos para la adherencia entre capas de mezclas bituminosas o entre estas y las de conglomerantes hidráulicos.

La Norma EN 12697-48 Interlayer Bonding actualmente se encuentra en periodo de revisión.

8 CONCLUSIONES

Ha quedado claramente expuesto la relevante importancia que tienen los riegos de adherencia en la durabilidad del firme bituminoso, con lo que es de vital importancia tener en cuenta las buenas prácticas expuestas en la guía.

La guía recoge las emulsiones bituminosas que actualmente son más adecuadas para esta unidad de obra, en función de la temperatura de las mezclas a adherir, de la macrotextura de la capa a extender y la de la superficie donde se aplica el riego de adherencia.

De la misma forma, la adecuada elección de la maquinaria, tanto para la aplicación como para realizar las tareas de limpieza, incide en la calidad del riego de adherencia. En los equipos de aplicación, la verificación del control de la temperatura de la emulsión, de la altura de la rampa, y de la alineación y limpieza de los difusores, resulta necesaria para conseguir una aplicación uniforme y correcta. En cada tipo de actuación en el firme se valorarán los equipos de limpieza necesarios para conseguir que la superficie esté totalmente limpia.

Se debe garantizar la conformidad de los materiales empleados con las especificaciones mediante la toma de muestras de la emulsión. Este control debe entenderse no solo en la recepción sino también a lo largo de la ejecución con la periodicidad establecida en el art 214 del PG-3.

Es importante el control de la dotación del ligante residual para garantizar el adecuado comportamiento del riego de adherencia. Además, se determinará la resistencia a cortante de la interfaz, mediante la aplicación de un ensayo de corte, para controlar la adherencia final conseguida.

A continuación, se recopilan una serie de indicaciones para maximizar las prestaciones del riego de adherencia:

- Limpieza de la superficie.
- Correcta elección del tipo de emulsión bituminosa (tráfico, capa a adherir, zona estival): termoadherentes, modificadas o convencionales.
- Atender a un almacenaje adecuado de la emulsión.
- Calibración y alineación de los difusores de la rampa de riego.
- Temperatura de aplicación.
- Correcta dosificación.
- Dejar que la emulsión bituminosa rompa.
- No dejar mucho tiempo el ligante residual del riego de adherencia expuesto al sol y, en caso de no ser posible, aplicar las medidas de protección necesarias para evitar la pegajosidad del betún residual.
- No circular por encima del riego hasta la aplicación de la capa.
- Respetar los condicionantes climatológicos.
- Riego de protección mediante extendido de gravilla (situaciones con elevado tráfico de obra) o de lechada de cal (situaciones donde la temperatura del firme y la de los neumáticos de los camiones es muy elevada).

9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pérez Jiménez, F.; Miró, R.; Martínez, A. (2006) Estudio, diseño y control de mezclas bituminosas. Asociación Española de la Carretera, Madrid. ISBN 84-89875-64-2
- [2] Ferré Franquet, P. (2007) Monografía ATEB. Las emulsiones de betún: Su química y física. Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas, Madrid. Miranda Pérez, L.; Redondo Gil, S. Revisión de la monografía (2018), Madrid.
- [3] Ruiz Rubio, A.; Jofré Ibáñez, C. (2009) Manual de firmes con capas tratadas con cemento. 2ª Edición CEDEX - IECA, Madrid.
- [4] Bardesi Orúe-Echevarría, A.; Tomás Raz, R. (2007) Monografía ATEB. Riegos auxiliares. Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas, Madrid.
- [5] Dirección General de Carreteras del MITMA. (2015) Art. 214 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).
- [6] Dirección General de Carreteras del MITMA. (2015) Art. 531 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).
- [7] Secmair. Catálogo de cisternas de riego.
- [8] Vögele. Manual de extendedora.
- [9] IBEF (1999) Encuesta sobre la dotación a nivel mundial. París.
- [10] ALEAS (2020) Estudio sobre la adherencia entre capas. Madrid.
- [11] García Santiago, J.L. (2013) Blog Motores y carreteras. Motores y carreteras (<https://jluisgsa.blogspot.com>). Madrid.
- [12] Guerrero Aguilera, S. A.; Salas Chaves, M.; Sequeira Rojas, W.; Loría Salazar, G. (2015) Manual buenas prácticas constructivas en la aplicación de riegos de liga. PITRA. Universidad de Costa Rica y Lanamme UCR. San José.
- [13] Dirección General de Carreteras del MITMA. (2020). Nota técnica NT 01/2020 para el proyecto y la ejecución de lechadas de cal como sistema de protección de riegos de adherencia.
- [14] prEN 12697-48. Mezclas bituminosas. Métodos de ensayos. Parte 48; Adherencia entre capas.

ANEJO 1

EMULSIONES RECOMENDADAS Y DOTACIÓN MÍNIMA

Nota 1: las tolerancias indicadas en este anejo tienen como finalidad adaptar las dotaciones a las condiciones específicas de los soportes sobre los que se aplica el riego de adherencia, relacionados con su macrotextura y su grado de envejecimiento (por ejemplo, una superficie muy envejecida y abierta puede requerir una tolerancia positiva -mayor dotación-, mientras que una superficie muy cerrada puede exigir una tolerancia negativa -menor dotación-).

Nota 2: con carácter general, cuando las capas superiores sean mezclas en frío o templadas las emulsiones recomendadas serán C60B3 ADH y C60BP3 ADH.

Nota 3: cuando el riego se ejecute en tiempo frío, en lugar de emulsiones con índice de rotura clase 3 (70-155) se recomienda emplear la clase 2 (< 110), de acuerdo con el artículo 214 del PG-3.

Obra nueva			
Capa superior: mezcla bituminosa continua (AC)			
Tipo de capa inferior	Emulsión recomendada / dotación mínima (g/m² ligante residual)		
	Zona térmica estival		
	Templada	Media	Cálida
AC	C60B3 TER / 300 C60B3 ADH / 300		C60B3 TER / 300
<u>Tolerancias a la Dotación</u>	-10 % y +40 % sobre 300 g/m² (270-420)		

Obra nueva			
Capa superior: mezcla bituminosa drenante (BBTM/SMA)			
Tipo de capa inferior	Emulsión recomendada / dotación mínima (g/m² ligante residual)		
	Zona térmica estival		
	Templada	Media	Cálida
AC/SMA	C60BP3 TER / 300 C60BP3 ADH / 300		C60BP3 TER / 300
<u>Tolerancias a la Dotación</u>	-10 % y +40 % sobre 300 g/m² (270-420)		

Obra nueva Capa superior: mezcla bituminosa drenante (PA)			
Tipo de capa inferior	Emulsión recomendada / dotación mínima (g/m ² ligante residual)		
	Zona térmica estival		
	Templada	Media	Cálida
AC	C60BP3 TER / 300 C60BP3 ADH / 300		C60BP3 TER / 300
<u>Tolerancias a la Dotación</u>	-10 % y +40 % sobre 300 g/m ² (270-420)		

Nota: en el caso de la doble aplicación de capa drenante (twin-layer) no se aplicará riego de adherencia entre ambas capas, debido al sistema específico de ejecución.

Obra nueva Capa superior: mezcla bituminosa ultradelgada (AUTL)			
Tipo de capa inferior	Emulsión recomendada / dotación mínima (g/m ² ligante residual)		
	Zona térmica estival		
	Templada	Media	Cálida
AC/SMA	C60BP3 TER / 300 C60BP3 ADH / 300		C60BP3 TER / 300
<u>Tolerancias a la Dotación</u>	-10 % y +20 % sobre 300 g/m ² (270-360)		

Obra nueva Capa superior: mezcla bituminosa ultradelgada monogranular (AUTL)			
Tipo de capa inferior	Emulsión recomendada / dotación mínima (g/m ² ligante residual)		
	Zona térmica estival		
	Templada	Media	Cálida
AC/SMA	C60BP3 ADH ⁽¹⁾ / 1.200		
<u>Tolerancias a la Dotación</u>	-10 % y +20 % sobre 1.200 g/m ² (1.080-1.440)		

⁽¹⁾ Emulsión altamente modificada aplicada con equipo de riego incorporado en la extendidora

Obra de recrecimiento Capa superior: mezcla bituminosa continua (AC)			
Tipo de capa inferior Textura (mm)	Emulsión recomendada / dotación mínima (g/m² ligante residual)		
	Zona térmica estival		
	Templada	Media	CALIDA
AC nuevo	C60B3 TER / 300 C60B3 ADH / 300		C60B3 TER / 300
AC liso <0,7			
PA envejecida (sellar con microaglomerado en frío fino)			
<u>Tolerancias a la dotación</u>	-10 % y +40 % sobre 300 g/m² (270-420)		
AC envejecido	C60B3 TER / 400 C60B3 ADH / 400		C60B3 TER / 400
BBTM envejecido			
Riego con gravilla envejecido			
Microaglomerado en frío envejecido			
Pavimento de hormigón envejecido			
<u>Tolerancias a la dotación</u>	-10 % y +30 % sobre 400 g/m² (360-520)		

Obra de recrecimiento Capa superior: mezcla bituminosa discontinua (BBTM/SMA) o drenante (PA)			
Tipo de capa inferior Textura (mm)	Emulsión recomendada / dotación mínima (g/m² ligante residual)		
	Zona térmica estival		
	Templada	Media	Cálida
AC nuevo	C60BP3 TER / 300 C60BP3 ADH / 300		C60BP3 TER / 300
AC liso <0,7			
PA envejecida (sellar con microaglomerado en frío fino)			
<u>Tolerancias a la dotación</u>	-10 % y +40 % sobre 300 g/m² (270-420)		
AC envejecido	C60BP3 TER / 400 C60BP3 ADH / 400		C60BP3 TER / 400
BBTM envejecido			
Microaglomerado en frío envejecido			
Pavimento de hormigón envejecido			
Superficie microfresada			
<u>Tolerancias a la dotación</u>	-10 % y +30 % sobre 400 g/m² (360-520)		

Obra de recrecimiento Capa superior: mezcla bituminosa ultradelgada (AUTL)			
Tipo de capa inferior Textura (mm)	Emulsión recomendada / dotación mínima (g/m² ligante residual)		
	Zona térmica estival		
	Templada	Media	Cálida
AC nuevo	C60BP3 TER / 300 C60BP3 ADH / 300		C60BP3 TER / 300
AC liso <0,7			
PA envejecida (sellar con microaglomerado en frío fino)			
<u>Tolerancias a la dotación</u>	-10 % y +20 % sobre 300 g/m² (270-360)		
AC envejecido	C60BP3 TER / 400 C60BP3 ADH / 400		C60BP3 TER / 400
BBTM envejecido			
Microaglomerado en frío envejecido			
Pavimento de hormigón envejecido			
Superficie microfresada			
<u>Tolerancias a la dotación</u>	-10 % y +20 % sobre 400 g/m² (360-480)		

Obra de recrecimiento Capa superior: mezcla bituminosa ultradelgada monogranular (AUTL)			
Tipo de capa inferior Textura (mm)	Emulsión recomendada / dotación mínima (g/m² ligante residual)		
	Zona térmica estival		
	Templada	Media	Cálida
AC nuevo	C60BP3 ADH ⁽¹⁾ / 1.200		
AC liso <0,7			
PA envejecida (sellar con microaglomerado en frío fino)			
AC envejecido			
BBTM envejecido			
Microaglomerado en frío envejecido			
Pavimento de hormigón envejecido			
Superficie microfresada			
<u>Tolerancias a la dotación</u>	-10 % y +20 % sobre 1.200 g/m ² (1.080-1.440)		

⁽¹⁾ Emulsión altamente modificada aplicada con equipo de riego incorporado en la extendedora.

Obra de rehabilitación (fresado y reposición o reciclado en frío y recrecimiento) Capa superior: mezcla bituminosa continua (AC)			
Tipo de capa inferior	Emulsión recomendada / dotación mínima (g/m² ligante residual)		
	Zona térmica estival		
	Templada	Media	Cálida
Reciclado en frío no sellado	C60B3 TER / 400 C60B3 ADH / 400		C60B3 TER / 400
Superficie fresada			
Tolerancias a la dotación	-10 % y +30 % sobre 400 g/m² (360-520)		

Obra de rehabilitación(fresado y reposición o reciclado en frío y recrecimiento) Capa superior: mezcla bituminosa discontinua (BBTM/SMA)			
Tipo de capa inferior	Emulsión recomendada / dotación mínima(g/m² ligante residual)		
	Zona térmica estival		
	Templada	Media	Cálida
Reciclado en frío no sellado	C60BP3 TER / 400 C60BP3 ADH / 400		C60BP3 TER / 400
Superficie fresada			
<u>Tolerancias a la dotación</u>	-10 % y +30 % sobre 400 g/m² (360-520)		

Obra de rehabilitación (fresado y reposición o reciclado en frío y recrecimiento) Capa superior: mezcla bituminosa ultradelgada (AUTL)			
Tipo de capa inferior	Emulsión recomendada / dotación mínima (g/m² ligante residual)		
	Zona térmica estival		
	Templada	Media	Cálida
Reciclado en frío no sellado	C60BP3 TER / 400 C60BP3 ADH / 400		C60BP3 TER / 400
Superficie fresada			
Tolerancias a la dotación		-10 % y +20 % sobre 400 g/m² (360-480)	

Obra de rehabilitación (fresado y reposición o reciclado en frío y recrecimiento) Capa superior: mezcla bituminosa ultradelgada monogranular (AUTL)			
Tipo de capa inferior	Emulsión recomendada / dotación mínima(g/m ² ligante residual)		
	Zona térmica estival		
	Templada	Media	Cálida
Reciclado en frío no sellado	C60BP3 ADH ⁽¹⁾ / 1.200		
Superficie fresada			
<u>Tolerancias a la dotación</u>	-10 % y +20 % sobre 1.200 g/m ² (1.080-1.440)		

⁽¹⁾ Emulsión altamente modificada aplicada con equipo de riego incorporado en la extendidora

ANEJO 2

LISTADO DE DOCUMENTACIÓN A APORTAR POR EL CONTRATISTA

- Albarán de producto.
- Etiquetado y certificado de marcado CE de la emulsión.
- Declaración de prestaciones de la emulsión.
- Instrucciones e información de seguridad del producto.
- Certificados en materia ambiental, de seguridad y salud, y de transporte, en lo referente a los equipos empleados en la ejecución del riego de adherencia.
- Relación y características de los equipos de limpieza y de aplicación del riego de adherencia.

A continuación, se detalla el contenido que debe incluir tanto el albarán -tabla (1)- como el etiquetado y marcado CE -tabla (2)- en el caso de emulsiones para riegos de adherencia, una relación y características de los equipos (3) y la documentación relativa a seguridad, salud y medioambiente (tabla 4).

(1) El albarán indicará explícitamente lo siguiente (art. 214 PG-3)

1	Nombre y dirección de la empresa suministradora.
2	Fecha de fabricación y de suministro.
3	Identificación del vehículo que lo transporta.
4	Cantidad que se suministra.
5	Denominación comercial, si la hubiese, y tipo de emulsión bituminosa suministrada, de acuerdo con la denominación especificada en este artículo.
6	Nombre y dirección del comprador y del destino.
7	Referencia del pedido.

(2) Etiqueta del marcado CE

1	Símbolo del marcado CE.
2	Número de identificación del organismo de certificación.
3	Nombre o marca distintiva de identificación y dirección registrada del fabricante.
4	Las dos últimas cifras del año de su primera colocación.
5	Número de referencia de la Declaración de Prestaciones.
6	Referencia a la norma europea EN 13808.
7	Descripción del producto: nombre genérico, tipo y uso previsto.
8	Información sobre las características esenciales de la emulsión incluidas en la norma UNE-EN 13808: - Viscosidad (tiempo de fluencia, norma UNE-EN 12846-1). - Efecto del agua sobre la adhesión del ligante (adhesividad, norma UNE-EN 13614). - Comportamiento a rotura (índice de rotura, norma UNE-EN 13075-1 y en su caso, estabilidad en la mezcla con cemento, norma UNE-EN 12848).
9	Características del ligante residual por evaporación (norma UNE-EN 13074-1): - Consistencia a temperatura de servicio intermedia (penetración a 25°C, norma UNE-EN 1426). - Consistencia a temperatura de servicio elevada (punto de reblandecimiento, norma UNE-EN 1427). - Cohesión para el ligante residual en emulsiones bituminosas modificadas (ensayo del péndulo, norma UNE-EN 13588)
10	Características del ligante residual por evaporación (norma UNE-EN 13074-1), seguido de estabilización (norma UNE-EN 13074-2): - Durabilidad de la consistencia a temperatura de servicio intermedia (penetración retenida, norma UNE-EN 1426). - Durabilidad de la consistencia a temperatura de servicio elevada (incremento del punto de reblandecimiento, norma UNE-EN 1427). - Durabilidad de la cohesión en emulsiones bituminosas modificadas (ensayo del péndulo, norma UNE-EN 13588).

(3) Relación y características de los equipos:

Antes del inicio de las obras se presentará una ficha con los siguientes datos de los equipos propuestos.

Equipos de limpieza.

- Barredora.
 - Fabricante, modelo y clase de barredora.
- Tipo de útiles a emplear.
 - Fabricante, modelo, clase y tipo de elementos de barrido.

Equipo de extendido.

- Camión de extendido.
 - Marca, potencia, n.º de matrícula.
- Tipo de extendedora.
 - Sistema de control de la dosificación.
 - Tipo, fabricante/instalador.
 - Certificado de calibración.
 - Emisor, referencia y fecha.

El siguiente cuadro presenta las posibilidades en cuanto a los tipos de equipo a utilizar.

EQUIPOS	Limpieza	Tipo de barredora		Mini cargadora Cucharon barredora Cepillo barredor remolcado Camión barredora aspiradora Hidrolimpiadora Camión de Hidrodesbaste
		Tipo de útiles		Cepillo con cerdas de polipropileno Cepillo con cerdas de acero Cepillo con cerdas de cable
	Extendido	Camión		
		Extendedora	Sistema de control de la dosificación	Presión constante
				Volumen constante
				Dosificación constante

(4) Documentación relativa a seguridad, salud y medioambiente

1	Instrucciones e información de seguridad del producto.
2	Certificados en materia ambiental, de seguridad y salud, y de transporte, en lo que se refiere a los equipos empleados en la ejecución del riego de adherencia.
3	Ficha de datos de seguridad de las emulsiones bituminosas.
4	Plan de gestión medioambiental de la obra.

ANEJO 3

COMPROBACIONES ANTES DE, DURANTE Y TRAS LA EJECUCIÓN DE UN RIEGO DE ADHERENCIA

ANTES DEL INICIO DE LAS OBRAS		
EQUIPOS	Comprobación de la coincidencia con los aprobados	
	Otras comprobaciones: (certificado de calibración, inspección de estado)	
DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA OBRAS		
EMULSIÓN	Recepción	Albarán: según art. 214 PG-3, tabla (1) del Anejo 2. Características de ensayo del lote de fabricación.
	Marcado CE	Etiqueta: según art. 214 PG-3, tabla (2) del Anejo 2.
OBRA	Comprobación de la limpieza de la superficie	Antes de cada riego
	Comprobación del estado de la superficie - No deben existir capas residuales de la capa fresada de poco espesor - No deben existir zonas con roderas, baches, hundimientos o blandones	Antes de cada riego
	Comprobación del extendido - Temperatura de la emulsión - Altura de la rampa de riego - Alineación de los difusores de la rampa - Pulverización de los difusores - Velocidad de avance - Dotación del ligante residual (*) - Toda la superficie debe estar regada con la dosificación establecida de modo uniforme.	Durante cada riego
	Comprobación del mantenimiento del riego extendido - Medidas de protección del riego si fuera necesario - Mantenimiento de las condiciones de la superficie regada hasta la aplicación de la mezcla bituminosa, evitando: - Pérdida de riego por arrastre de neumáticos - Ensuciamiento por otras causas	Después de cada riego. En caso de advertirse fallos en el estado del riego antes del extendido de la mezcla se procederá a su reparación.
OBRA TERMINADA		
	Control de obra terminada - Ensayo de adherencia sobre tres (3) testigos (art 531 PG-3)	Por lote

(*) Para verificar la dotación de ligante residual aplicado, se seguirá lo establecido en la norma UNE EN 12272-1 referente a "Tratamientos superficiales. Métodos de ensayo. Parte 1: Índice y regularidad de la dispersión del ligante y de las gravillas". Sería recomendable que, además de usar el método UNE EN, en las obras se verifique el peso de emulsión consumida y la superficie aplicada para tener un orden de magnitud aproximada.

