Guía de calidad de materiales para tratamientos superficial simple, dobles y triples de acuerdo con especificaciones de construcción nacionales e internacionales

Jorge Andrés Piza Becerra

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de

ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de Ingeniería

Especialización en Ingeniería de Pavimentos

Bogotá

2020

Tabla de Contenido

Introducción 7
Planteamiento del Problema 9
Formulación del Problema 10
Objetivos 11
Objetivo General 11
Objetivos Específicos 11
Marco Teórico 12
Agregados Pétreos 13
Agregado Grueso 14
Agregado Fino 14
Otras Clasificaciones 14
Emulsión o Ligante Asfáltico 16
Emulsificante 17
Aditivos Mejoradores de Adherencia 18
Equipos 18
Equipo Elaboración y Clasificación Agregado 18
Equipo Aplicación Ligante 20
Equipo Extensión Agregado 20
Equipo Multidistribuidor de Asfalto y Agregado 21
Equipo Compactador 22
Equipo de barrido 22
Normas Internacionales 23
Estados Unidos 23
México 24
Perú 24
Marco Metodológico 26
Materiales 27
Características Agregados Pétreos 27
Granulometrías 30
Requisitos Material bituminoso 34
Características Aditivos Mejoradores Adherencia 41
Ejecución de los Trabajos 43
Tramo Experimental o Fase de Experimentación 43
Explotación de Materiales 44
Dosificación del Tratamiento 45

Preparación de la Superficie Existente 47
Aplicación del Ligante o Emulsión Asfáltica 48
Extensión del Agregado Grueso 49
Aplicación Conjunta Emulsión – Agregado 50
Compactación 51
Acabado y Limpieza 52
Apertura del Tránsito 52
Limitaciones en la Ejecución 53
Manejo Ambiental 53
Conservación y/o Reparaciones 55
Condiciones para el Recibo de los Trabajos 55
Calidad del Ligante o Emulsión 56
Calidad de los Agregados Pétreos 56
Calidad de los Aditivos 59
Control de la Composición de la Mezcla 59
Control de la Calidad de la Capa Terminada 60
Medida 60
Forma de Pago 61
Resultados 62
Verificación de la Capa Base 62
Características de los Materiales 63
Procedimiento Constructivo 65
Conclusiones 70
Referencias 72

Lista de Tablas

Tabla 1 – Denominación de agregados minerales. INVIAS (2013). 14

Tabla 2 – Requisitos de los agregados para TSS y TSD. (INVIAS, 2013). 27

Tabla 3 – Niveles de Tránsito. (INVIAS, 2013). 28

Tabla 4 – Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos superficiales. (IDU, 2018) 28

Tabla 5 – Categorías de Tránsito. (IDU, 2018). 29

Tabla 6 – Exigencias calidad para agregados pétreos del MTC. (EG, 2013) 29

Tabla 7 – Gradación para Tratamiento Superficial Simple. (INVIAS, 2013). 30

Tabla 8 – Gradación para Tratamiento Superficial Doble. (INVIAS, 2013). 31

Tabla 9 – Gradación para Tratamiento Superficial Simple. (IDU, 2018). 32

Tabla 10 – Gradación para Tratamiento Superficial Doble. (IDU, 2018). 33

Tabla 11 – Gradación para Tratamiento Superficial Triple. (IDU, 2018). 33

Tabla 12 – Rangos gradación para TS. (EG, 2013) 34

Tabla 13 – Especificaciones emulsiones asfálticas catiónicas. (INVIAS, 2013). 35

Tabla 14 – Especificaciones emulsiones asfálticas catiónicas modificadas con polímeros. (INVIAS, 2013). 36

Tabla 15 – Especificaciones emulsiones catiónicas. (IDU, 2018). 37

Tabla 16 – Especificaciones emulsiones asfálticas modificadas con polímeros. (IDU, 2018). 38

Tabla 17 – Especificaciones para emulsiones catiónicas. (EG, 2013) 39

Tabla 18 – Especificaciones para emulsiones catiónicas con polímeros. (EG, 2013) 39

Tabla 19 – Rangos de temperatura de aplicación. (EG, 2013). 40

Tabla 20 – Efectividad de los aditivos. (EG, 2013, p. 692). 42

Tabla 21 – Requerimientos para Cal Tipo I y Cal Tipo II. (EG, 2013, p. 692). 43

Tabla 22 – Requerimientos para Cal Tipo II. (EG, 2013, p. 692). 43

Tabla 23 – Dosificación para tratamientos superficiales simples, dobles y triples. (IDU, 2018) 45

Tabla 24 – Dosificación para tratamientos superficiales simples. (INVIAS, 2013) 45

Tabla 25 – Dosificación para tratamientos superficiales dobles. (INVIAS, 2013) 46

Tabla 26 – Cantidades aproximadas de material para tratamiento superficial simple [TS]. (EG, 2013) 46

Tabla 27 – Cantidades aproximadas de materiales para Tratamientos Superficiales Dobles. (EG, 2013). 47

Tabla 28 – Cantidades aproximadas de materiales para Tratamientos Superficiales Triples. (EG, 2013). 47

Tabla 29 – Ensayos de verificación de agregados para TSS. (INVIAS, 2013) 57

Tabla 30 – Ensayos de verificación de agregados para TSD. (INVIAS, 2013) 58

Tabla 31 – Ensayos mínimos de verificación sobre los agregados para TS. (IDU, 2018) 59

Tabla 32 – Ensayos mínimos de verificación sobre la mezcla asfáltica. (IDU, 2018) 59

Tabla 33 – Ensayos mínimos de verificación sobre la capa terminada. (IDU, 2018) 60

Lista de Figuras

Figura 1 – Flujograma proceso constructivo de un TSS, TSD o TST. 26

Figura 2 – Distribuidor de Asfalto. (E. D. ETNYRE & CO) 49

Figura 3 – Gravilladora. (UPV) 50

Figura 4 – Multidistribuidor de Agregado. (ROMANELLÍ) 51

Figura 5 – Compactador neumático. (GECOLSA - CAT, 2020) 52

Figura 6 – Los agregados gradados dificultan una inserción consistente. (TxDOT, 2017) 66

Figura 7 – La gradación de un solo tamaño produce resultados consistentes. (TxDOT, 2017) 66

Figura 8 – Esquema ejecución TSS. (Manual de utilización de emulsiones asfálticas en carreteras, 1992) 67

Figura 9 – Esquema ejecución TSD. (Manual de utilización de emulsiones asfálticas en carreteras, 1992) 69

Introducción

Muchos son los aspectos que se deben tener en cuenta al momento de realizar una verificación a una obra o parte especifica de esta, por ejemplo, una interventoría es quien debe velar porque se cumplan todos los requerimientos técnicos en un proyecto y logrando esto, se garantiza gran parte de la calidad y durabilidad de los productos entregados, como en el caso de una edificación, un acueducto, o en nuestro caso, una vía.

Una de las herramientas más usadas por supervisores o interventores, son las normas o especificaciones técnicas que maneja el país según el lugar donde se desarrolle el proyecto, por ejemplo, si nos concentramos en vías nacionales secundarias o terciarias, la entidad encargada es el INVIAS, ellos nos dan los lineamientos técnicos requeridos para decir que una obra cumplió de manera adecuada con la calidad exigida, y garantizar en gran medida su durabilidad, dos factores de gran importancia al momento de entregar un proyecto terminado a la comunidad, que finalmente será quien lo use y se beneficie por ello.

Centrándonos en vías nacionales secundarias y terciarias, que son las que más kilometraje tienen en Colombia, y por consiguiente vías que tienen un nivel de deterioro considerable, es conveniente buscar alternativas prácticas, recubrimientos fáciles de usar que ayuden a proteger las vías y prolonguen su vida útil, un ejemplo son los tratamientos superficiales, que colocados en vías que tengan suelos con ciertas características mínimas, representarían una gran mejora en cuanto a serviciabilidad y comodidad para quienes la transiten.

Dicho lo anterior, sería interesante seguir usando este tipo de construcciones para mejorar el aspecto y rendimiento de una vía y, además, lograr cumplir a cabalidad con las especificaciones correspondientes, el problema radica en que este tipo de documentos están escritos de forma muy técnica y muchas veces buscar, interpretar, organizar o sintetizar esa información es algo tedioso, más aun para los menos experimentados, lo cual conlleva a pasar detalles por alto y no cumplir con un seguimiento adecuado.

El presente trabajo pretende brindar una solución a este inconveniente por medio de una guía que sintetice las especificaciones para este tipo de tratamientos superficiales sin dejar a un lado el componente técnico, calidad y estándares solicitados, siendo un elemento de gran utilidad al momento de realizar una supervisión a un proyecto con estas características.

Planteamiento del Problema

Colombia es un país que en términos de infraestructura vial no es muy competitivo si se compara con otros países latinoamericanos, y siendo aún más bajo si se tienen en cuenta el resto de los países a nivel mundial, ocupando el puesto 97 entre 140 países, según el índice de conectividad de carreteras calculado por el Foro Económico Mundial, año 2018.

Colombia tiene un aproximado de 206.627 km de vías en todo el territorio nacional, de las cuales un 68,8% de estas corresponden a vías terciarias según cifras estadísticas publicadas por el Ministerio de Transporte para el año 2018, siendo claramente las más extensas y las más deterioradas, dado que su estructura habitual se compone de un material de afirmado o recebo, aunque son caminos transitables en épocas secas, cambia drásticamente cuando llegan las temporadas invernales, por lo cual es necesario mitigar esta problemática, construyendo vías que sean más duraderas y con parámetros de calidad óptimos.

Por consiguiente, se deben implementar soluciones que sean prácticas y lo más eficiente posible, por esta razón, entre varias opciones que existen en la actualidad, los tratamientos superficiales son una de las buenas soluciones para este tipo de vías, teniendo en cuenta sus grandes beneficios y costos inferiores si lo comparamos con un pavimento flexible elaborado con una mezcla asfáltica en caliente o un pavimento rígido, por tal razón, sería conveniente tener una forma clara de interpretar las especificaciones que se refieren a este tipo de procesos constructivos y así mejorar la calidad de vida de muchas poblaciones que no tienen vías de calidades aceptables para su uso.

Formulación del Problema

¿Cuál es la mejor forma para garantizar una buena calidad en los materiales y por consiguiente en la construcción de un Tratamiento Superficial Simple, Tratamiento Superficial Doble o Tratamiento Superficial Triple, teniendo como base las especificaciones INVIAS?

Objetivos

Objetivo General

Elaborar una guía de calidad de materiales para Tratamiento Superficial Simple [TSS], Tratamiento Superficial Doble [TSD] y Tratamiento Superficial Triple [TST], de acuerdo con los artículos 430 y 431 según las especificaciones INVIAS del año 2013 enmarcadas dentro de la Resolución No. 0001376 del 26 de mayo de 2014, que permita conocer cuáles son los requerimientos técnicos solicitados para realizar una adecuada supervisión técnica a un proyecto con este tipo de trabajos.

Objetivos Específicos

- Obtener información complementaria a través de una revisión bibliográfica de las políticas INVIAS, por medio de otras normas técnicas, investigaciones y estudios realizados en el tema, facilitando la comprensión de los requerimientos y el correcto uso de la guía.
- Determinar los componentes de un tratamiento superficial relacionados con los materiales, equipos, ejecución y condiciones de recibo, de acuerdo con lo mencionado en las especificaciones INVIAS del año 2013, en el capítulo 4, artículos 430 y 431, de esta forma poder implementarlos en cualquier proyecto.
- Describir de una manera sencilla y práctica la forma correcta para efectuar una adecuada supervisión a un Tratamiento Superficial Simple, Tratamiento Superficial Doble o Tratamiento Superficial Triple, que permita garantizar un proceso constructivo óptimo según la normatividad colombiana.

Marco Teórico

Los tratamientos superficiales se construyen como una alternativa económica, práctica y eficaz para proteger a una vía, evitando así que su soporte (capa granular, sea base, subbase, material de préstamo o incluso la misma subrasante), quede expuesta sin ningún tipo de protección a los diferentes factores climáticos, además del propio tránsito que circulará por dicha vía, dificultando mantener un determinado nivel de servicio, deteriorándola rápidamente, dificultando su uso futuro, así como la calidad de vida de los usuarios.

Un tratamiento superficial consiste en el riego de una o varias aplicaciones de material bituminoso sobre una superficie o suelo preparado, seguido sucesivamente por la extensión y compactación de sendas capas de agregado pétreo (INVIAS, 2013), aunque no está considerado como una estructura de pavimento que aporte mejoras a la capacidad estructural de una vía, si mejora notablemente su durabilidad, lo cual, teniendo un soporte adecuado o con alguna mejora en su resistencia, se comportará como una estructura de pavimento flexible en un determinado rango de tiempo.

Los componentes de un tratamiento superficial según INVIAS (2013) se distribuyen en los siguientes materiales, agregados pétreos, material bituminoso y aditivos mejoradores de adherencia.

A continuación, se presentarán las definiciones principales relacionadas con los componentes de un tratamiento superficial, de esta manera comprender de una forma más amplia el tema de investigación.

Agregados Pétreos

No deben ser materiales susceptibles a ningún cambio por agentes químicos, agua, o disoluciones que puedan afectar el comportamiento del tratamiento o estructura de pavimento, adicional, al aplicar el material asfáltico, este no se debe desprender por acción del agua o tránsito, de ser así, se puede aceptar siempre y cuando se añada algún aditivo que garantice una óptima adhesividad previa comprobación según INVIAS (2013).

Para el uso de agregados pétreos, uno de los parámetros para tener en cuenta es su granulometría, el cual es un procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueden separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, conociendo así las cantidades en peso de cada tamaño que aportan al peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas (tamices) de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas (ASTM, 2003).

La mayoría de los agregados duros, tales como grava, piedra y escoria triturada, pueden usarse exitosamente en tratamientos superficiales. Sin embargo, el agregado seleccionado debe cumplir ciertos requisitos de tamaño, forma, limpieza y propiedades superficiales (NCHRP 680, 2016).

Se deben tener en cuenta algunas características de los materiales, una muy importante a tener presente es su tamaño según la granulometría, debido a esto podemos clasificarlos o encasillarlos dentro de alguna denominación, en el capítulo 4 de las especificaciones INVIAS se propone la clasificación de agregado grueso, agregado fino y llenante mineral, tal cual se muestra en la siguiente tabla y posterior descripción. (pp. 3-5, 2013).

Tabla 1 - *Denominación de agregados minerales. INVIAS (2013).*

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
Agregado grueso	Porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
Agregado fino	Porción del agregado comprendida entre los tamices de 4.74 mm y 75 µm (No. 4 y No. 200)
Llenante mineral - Llenante mineral de aporte	Porción que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200). - Fracción del llenante que se incorpora a la mezcla por separado.

Agregado Grueso

Procedente de un proceso de triturado y clasificación de roca y/o grava, aunque puede también usarse grava de origen aluvial, deberá tener fragmentos limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables, exento de polvo, tierra, terrones de arcilla o cualquier sustancia que impida la completa adhesión del asfalto.

Agregado Fino

Conformado por arena proveniente de trituración o mezclada con arena natural con una proporción adecuada según granulometría del agregado, los granos de arena deben ser limpios, duros y con superficie rugosa y angular, libres de sustancias que impidan la adhesión con el asfalto.

Otras Clasificaciones

Generalmente la clasificación de agregados se centra en decir que son finos y gruesos, hay otras formas de hacerlo de acuerdo con asociaciones como ASTM o ACI, como lo describe ARGOS en su blog 360 en Concreto (2020) y se describe a continuación.

Clasificación por Origen

Se realiza con base en su procedencia y procesos fisicoquímicos de su formación, se pueden mencionar los agregados ígneos, sedimentarios y metamórficos, provenientes de los tipos de roca con los mismos nombres.

Clasificación por Color

Este método es uno de los más sencillos de usar, debido a que solo se basa en el color para hacerlo, pero esto implica que brinda muy poca información en cuanto a su desempeño y otras características que son de gran importancia.

Clasificación por Tamaño de Partícula

Consiste en dividir los agregados según pasen o no el tamaño nominal de 4,75mm (tamiz No. 4) según lo menciona la Norma Técnica Colombiana NTC 32, de esta forma se dividen de la misma forma que se mencionó en la Tabla 1.

Clasificación por Fragmentación

Depende del tipo de fragmentación pueden ser, agregados naturales (procesos erosivos) o agregados manufacturados (procesos mecánicos) o mixtos, que incluirían una combinación de ambas formas.

Clasificación por Peso Específico

Se determina por el peso unitario de los agregados, de acuerdo con esto se tienen, agregados ligeros, agregados normales y agregados pesados.

Agregados Reciclados

Como su nombre lo induce, son provenientes de demoliciones, varían según el origen de la misma (construcción nueva, reforma o demolición), función para la cual fue diseñada inicialmente, edad de la estructura, entre otros factores. Su clasificación se hace en dos grandes grupos, *agregados reciclados limpios*, compuesto de un solo elemento aproximada al 95%, y *agregados reciclados sucios*, aquellos que no cumplen el parámetro anterior.

Emulsión o Ligante Asfáltico

Las emulsiones asfálticas surgieron en varios lugares del mundo, entre esos, las calles de Nueva York en el siglo XX con el propósito de evitar el levantamiento de polvo en las calles al transitar de los vehículos, posterior a esto su uso se ha diversificado de muchas formas, por ejemplo, en la construcción de los tratamientos superficiales.

Una emulsión asfáltica es simplemente una mezcla de asfalto, agua y un agente emulsificante que se encarga que la mezcla se comporte homogéneamente, se clasifican generalmente en dos tipos, aniónicas (cargadas electronegativamente) y catiónicas (cargadas electropositivamente), según lo describe MAVEGSA (2020) en su página web.

La apariencia de estas emulsiones es de color marrón con una textura un poco espesa, luego de aplicarse (romperse) adquiere un color más oscuro siendo prácticamente negro, este rompimiento ocurre luego de un cierto periodo de tiempo, dependiendo de la superficie en la cual se adhirió.

ALBORNOZ (2014) en su Tesis sobre Emulsiones Asfálticas, menciona que estas pueden clasificarse en tres (3) tipos de acuerdo con su estabilidad (tiempo que tarda en romperse):

- De rotura rápida [RS] o [RR], diseñadas para reaccionar rápidamente al contacto con el agregado, pasando de emulsión a asfalto en un periodo corto de tiempo, normalmente usadas para sellos asfálticos, sellos de arena o tratamientos superficiales.
- De rotura media [MS] o [RM], diseñadas para trabajar con agregados gruesos, permite trabajar por un periodo de tiempo, muy usadas en plantas móviles en frio o in situ con granulometrías abiertas o imprimaciones.
- De rotura lenta [SS] o [RL], usadas para garantizar más seguridad al momento del mezclado, usadas en agregados que tienen un alto contenido de finos o área superficial grande como en el caso de sellos de fisuras o lechadas asfálticas.

Emulsificante

También conocido como emulgente, es un componente químico que puede modificar la tensión superficial de un líquido cuando se encuentra disuelto en él, su función primordial es la de estabilizar la emulsión, logrando así la unión entre el asfalto y agua.

De acuerdo con el Instituto Mexicano del Transporte – IMT en su documento técnico No. 23, los emulsificantes son compuestos orgánicos con un peso molecular elevado conformado por dos partes, la primera, una parte hidrofóbica, la cual es soluble en un medio orgánico (asfalto), y la segunda, una parte hidrofílica soluble en un medio acuoso (agua), esto permite que una emulsión trabaje como una mezcla homogénea.

Los emulgentes están compuestos por un radical alkilo R, sumado a la partes hidrofílica e hidrofóbica ya mencionadas, y al entrar en contacto con el agua, se disocian quedando ya sea

con cargas negativas o positivas según el tipo de emulsificante, de esta forma trabajar como una emulsión aniónica o una emulsión catiónica.

Aditivos Mejoradores de Adherencia

Son aditivos que mejoran la afinidad química entre el asfalto y el agregado, así como el desempeño de la mezcla, incrementando su resistencia a la acción del agua, retardando su envejecimiento, proporcionando una mayor durabilidad a la carpeta asfáltica, como lo menciona QUIMICERA en su página web (2020).

Se debe cumplir lo mencionado según el artículo 412 (INVIAS), tener un respaldo y seguir las especificaciones del fabricante, además de garantizar afinidad entre el producto, los agregados y el asfalto, de igual forma, tener en cuenta el empaque del producto, transporte, almacenamiento y manejo ambiental, entre otros factores.

Equipos

Para este tipo de tratamientos, normalmente se usan equipos de explotación, elaboración y clasificación de agregados, equipos de limpieza de superficies, de distribución de material bituminoso, esparcidores de agregados, compactadores y otras herramientas, según se explica a continuación.

Equipo Elaboración y Clasificación Agregado

Esta más referido a las plantas de trituración de agregados, deben estar provistas de trituración primaria y secundaria, clasificación y lavado de los mismos, además de filtros evitando contaminación.

Planta de Trituración de Agregado

Son los lugares donde se procesa el material extraído de las canteras, usado principalmente para triturar de manera rápida gravas, guijarros, granitos, basaltos y otros materiales de piedra, como es especificado por AIMIX en sus especificaciones técnicas en su web (2020), es prácticamente la fuente de materia prima más importante en el sector de la construcción, se compone básicamente de:

- Trituración primaria: puede recibir rocas de gran tamaño provenientes de las minas, diseñado para grandes volúmenes de producción. Normalmente se usan trituradoras de mandíbulas o en algunos casos cuando se requiere un agregado con algunas condiciones de forma más específicas, se usan trituradoras de impacto, produciendo mejor producto en términos de forma. El tamaño de alimentación es entre 65 y 1020mm.
- Trituración secundaria: se usan equipos de mandíbulas o equipos de trituración giratorios o cono, es el siguiente proceso a la trituración primaria, donde el material resultante es mucho más fino, normalmente usado para todo tipo de construcciones. El rango de alimentación es entre 30 y 270mm.
- Trituración terciaria o fabricación de arena: el tamaño de alimentación oscila entre 30 y 50mm. Luego de haber pasado por dos procesos de trituración, se usa normalmente una trituradora de impacto de eje vertical, produciendo arena de alta eficiencia, aunque depende de la materia prima procesada.

- Proceso de cribado: se clasifica el material de acuerdo con su tamaño luego del proceso de trituración, se apila el material según especificaciones usando bandas transportadoras luego de pasar por las cribas de diferentes aberturas. El material que no cumple se procesa nuevamente, logrando finalmente un producto de buena calidad, en este proceso también se incluye un lavado del material, con el fin de eliminar el material muy fino como es el caso del material arcilloso.

Equipo Aplicación Ligante

Carrotanque irrigador, deber aplicar el producto de una manera uniforme, constante y transversalmente adecuada, con la temperatura adecuada, no puede verse afectado por carga, pendiente de la vía o dirección del vehículo. Para garantizar lo anterior, el carrotanque debe estar provisto de velocímetro, bomba de impulsión y termómetro para el ligante.

En algunos casos no será posible el uso del equipo irrigador, para estas situaciones se debe usar una regadora portátil que permita una aplicación homogénea y a presión, o una extensión del carrotanque con una boquilla adecuada, (IDU, 2018, p. 7).

Equipo Extensión Agregado

Normalmente se hace uso de esparcidoras autopropulsadas o extendedoras de agregado acopladas a una volqueta, lo importante es garantizar que la distribución se realice de manera homogénea sobre la superficie.

ETNYRE es una empresa especializada en la producción de equipos autopropulsados, entre ellos los esparcidores de grava, tienen la ventaja de esparcir el agregado según la velocidad del vehículo, abriendo o cerrando las diferentes compuertas que maneja la tolva, la

cual tiene un ancho variable, de igual forma es posible ajustar la altura para una correcta distribución. Este equipo es alimentado por medio de volquetas, lo cual hace que su rendimiento sea optimo siempre y cuando la alimentación de material sea constante.

Equipo Multidistribuidor de Asfalto y Agregado

Se trata de un equipo más moderno que combina el equipo de aplicación de ligante y extensión de agregado en una sola operación con las mismas características mencionadas anteriormente.

En Colombia no es habitual el uso de estos equipos, por lo general los procesos se hacen por separado, sin embargo, las especificaciones INVIAS del años 2013 en el capítulo 4, artículos 430 y 431, mencionan el uso de estos equipos y en el caso de las especificación 732-18 (Instituto de Desarrollo Urbano [IDU], 2018, pp. 7-8), aunque se menciona como equipo mínimo carrotanques irrigadores y distribuidores de agregados, se hace especial énfasis en el equipo multidistribuidor de asfalto y agregado como reemplazo de los equipos anteriormente mencionados para la elaboración de Tratamiento Superficial Simple, Tratamiento Superficial Doble y Tratamiento Superficial Triple.

El rendimiento de estos equipos es bastante alto, pueden tener una apertura de 3,6 metros de ancho tanto para el ligante como para el agregado, posee controles de distribución teniendo en cuenta la velocidad del vehículo, capacidad de agregado de 15m2 igual al de una volqueta de doble eje, reservas de emulsión de 4.700 litros, ideal para equipos de TSS y TSD de acuerdo con lo mencionado por ROMANELLI (2020) en sus especificaciones de este tipo de equipos.

Equipo Compactador

Se usan los rodillos neumáticos superiores a cinco (5) toneladas, la presión de inflado está sujeta a la aprobación del Interventor, el equipo debe ser autopropulsado con un equipo de limpieza en sus llantas e inversor de llantas.

Compactador Neumático

Este tipo de compactadores solo manejan neumáticos para el proceso de compactación, producen un efecto de amasado sobre la capa, reduciendo la permeabilidad superficial y un acabado estable, son equipos para trabajos pequeños o medianos, muy usados en suelos granulares, la fuerza de compactación se produce por el peso del equipo transmitido al suelo a través de los neumáticos, esta fuerza varía dependiendo de la presión de las llantas que se esté usando. CATERPILLAR (2020), siendo unas de las marcas más representativas en cuanto a maquinaria en Colombia, maneja varios modelos, los cuales varían en la cantidad de llantas que usan (7, 9 u 11 ruedas), con un peso en orden de trabajo que varía entre 5 a 10 toneladas, con un lastre máximo de 27 toneladas.

Equipo de barrido

Se debe disponer de un equipo especial para la limpieza de la superficie donde se aplicará el riego, el uso debe estar reglamentado por las autoridades ambientales competentes, actualmente existen varios equipos o barredoras como se menciona posteriormente:

Barredoras de Arrastre

Este tipo de maquinaria basa su eficacia en dos grupos de cepillos, unos laterales encargados de dirigir los residuos hacia el centro de la máquina, en la parte delantera llevan

rociadores para evitar la formación de polvo, atrás llevan un cepillo central cilíndrico encargado de recoger los residuos y llevarlos a la tolva, es frecuente el uso de vehículos de tres (3) ruedas para una mejor maniobrabilidad y flexibilidad operativa, AMBIENTUM (2020).

Barredora de Aspiración

Destinadas a áreas con menor grado de ensuciamiento, en donde se desee un acabado más perfecto y el barrido de un mayor porcentaje de polvo, tiene cepillos que cumplen con la función de llevar los residuos bajo la tolva de aspiración que lo lleva a un depósito. Como lo menciona AMBIENTUM en su portal de medio ambiente, este tipo de máquinas son propensas a la formación de polvo, pero una buena humectación y el uso en áreas de menos suciedad, minimizan este efecto.

Normas Internacionales

En cuanto a la normativa que tienen otros países frente a este tipo de tratamientos superficiales, sus equipos, modos de aplicación y recomendaciones en general, se tomaron como referencia las siguientes:

Estados Unidos

De acuerdo con el Seal Coat and Surface Treatment Manual (2017) del Texas Department of Transportation, no se encontraron diferencias significativas en cuanto a los procesos, pautas, para selección del tratamiento, equipos usados; con relación a las recomendaciones para una correcta aplicación si existen variaciones, dado que las vías en Estados Unidos están sometidas a condiciones climáticas (estaciones) diferentes a las de Colombia.

En cuanto a las tasas de aplicación de aglutinantes y agregados, el Manual de Tratamiento plantea 3 alternativas: Método de diseño de Kearby modificado, Método de diseño McLeod y Tasas de asfalto que varían transversalmente, los cuales no son mencionados en las últimas versiones de las especificaciones que se manejan en el país de forma directa, pero se hace la salvedad que es el Contratista quien tiene la responsabilidad de entregar el respectivo diseño y proceso, que posteriormente será verificado Interventor.

México

En la Guía de Procedimientos y Técnicas para la Conservación de Carreteras en México (2014), se mencionan los diferentes tratamientos superficiales, pero no especifica como tal uno simple, doble o múltiple; no obstante, si menciona un riego de sello, el cual tiene las mismas condiciones que un Tratamiento Superficial Simple, usando los mismos equipos, procesos constructivos y verificaciones luego de instalado.

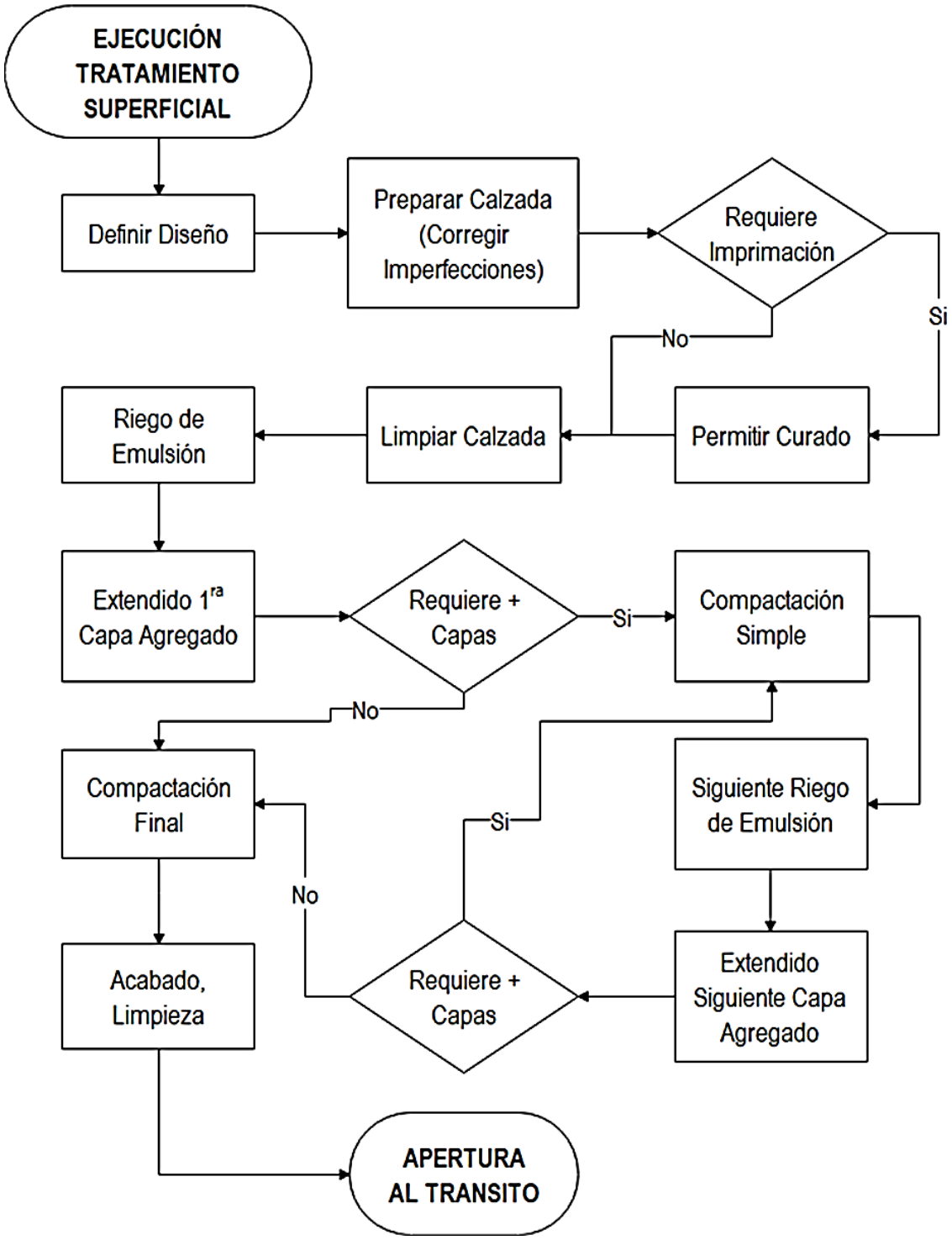
Perú

Las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG, 2013) en el Manual de Carreteras, en la sección 418, habla de los tratamientos superficiales, donde menciona que "este trabajo consiste en la colocación de una o más capas de tratamientos superficiales (asfalto, agregados y de ser el caso, aditivos) sobre la superficie de una base imprimada o cualquier otra" (pp. 507-520).

En cuanto a los materiales no existen cambios significativos, por otro lado, los equipos tienen algunas diferencias, no mencionan un equipo multidistribuidor de asfalto y agregado, pero si incluyen dentro de los compactadores el uso de rodillos metálicos lisos. Los

requerimientos de construcción no cambian sustancialmente, aunque a diferencia de las especificaciones INVIAS e IDU, mencionan el Tratamiento Superficial Múltiple [TM] para aplicación de dos o más capas de material bituminoso, todo en el marco de una fórmula de trabajo previamente aprobada.

Figura 1 – *Flujograma proceso constructivo de un TSS, TSD o TST.*



Como se pudo ver en la Figura 1, el proceso constructivo para un tratamiento superficial es sencillo, pero requiere de varios componentes que a su vez están enmarcados dentro de lineamientos que son de estricto cumplimiento tal cual como lo mencionan las especificaciones técnicas que se mencionarán a continuación.

Materiales

Antes de realizar el diseño para un tratamiento superficial, los materiales a usar deben cumplir ciertos estándares técnicos necesarios para un buen funcionamiento.

Características Agregados Pétreos

Se debe tener en cuenta lo mencionado en la Tabla 1, de igual forma cumplir las características para los agregados finos y gruesos de la Tabla 2.

Tabla 2 – *Requisitos de los agregados para TSS y TSD. (INVIAS, 2013).*

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	NIVEL DE TRÁNSITO	
		NT-1	NT-2
Dureza, agregado grueso (O)			
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%) - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	 25 5	 25 5
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	25
Coeficiente de pulimento acelerado, mínimo	E-232	0.45	0.45
Durabilidad (O)			
- Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregados fino y grueso, máximo (%)	E-220	18	18
Limpieza, agregado grueso (F)			
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	0.5	0.5
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)			
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	30	30
Caras fracturadas, mínimo (%): una cara / dos caras	E-227	75 / -	75 / 60
Adhesividad (O)			
Bandeja, mínimo (%)	E-740	80	80

Las características de dureza, durabilidad, limpieza, geometría de partículas y adhesividad mencionadas en la tabla 2, están relacionadas para niveles de tránsito NT-1 y NT-2 cuyos parámetros están limitados a cinco (5) millones de ejes equivalentes de 80 kN como se menciona en la Tabla 3.

Tabla 3 – *Niveles de Tránsito. (INVIAS, 2013).*

NIVEL DE TRÁNSITO	NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 80 kN EN EL CARRIL DE DISEÑO, N_{80kN}, MILLONES
NT1	$N_{80kN} \leq 0.5$
NT2	$0.5 < N_{80kN} \leq 5.0$
NT3	$N_{80kN} > 5.0$

En el caso de la especificación 732-18 del IDU (2018), los requisitos de calidad para los agregados pétreos para TSS, TSD y TST, son similares a los mencionados en la Tabla 2, excepto por la *Durabilidad*, la cual ya no es tenida en cuenta en la versión No. 4 de las especificaciones como se ilustra en la Tabla 4.

Tabla 4 – *Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos superficiales. (IDU, 2018)*

Ensayo		Norma de Ensayo	Categorías de tránsito		
			T1	T2	T3
Dureza					
Desgaste Los Ángeles (Gradación A)	- En seco, 500 revoluciones, % máximo	INV E-218-13	25	25	25
Micro Deval, % máximo	- Agregado Grueso	INV E-238-13	-	≤25	≤25
Coeficiente de pulimento acelerado, mínimo		INV E-232-13	0.45	0.45	0.45
Limpieza					
Contenido de impurezas agregado grueso; % máximo		INV E-237-13	0.5	0.5	0.5
Geometría de las Partículas					
Partículas Fracturadas Mecánicamente, % mínimo	- 1 cara - 2 caras	INV E-227-13	75	75 60	90 85
Partículas Planas y Alargadas, relación 5:1, máximo, %		INV E-240-13	10	10	10
Adhesividad					
Bandeja mínimo		INV E-740-13	80	80	80

Otra diferencia frente a los requisitos de los agregados de INVIAS, radica en los niveles de tránsito, o como lo describe el IDU, las categorías de tránsito, en donde se contemplan todas, T1, T2 y T3, discriminadas por el número acumulado de ejes equivalentes de 80 kN como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5 – *Categorías de Tránsito. (IDU, 2018).*

Categoría de Tránsito	Nivel de Tránsito	
	VPDo	NAEE_80 (millones)
T1	VPDo < 200	NAEE_80 < 2.0
T2	200 ≤ VPDo < 800	2.0 ≤ NAEE_80 < 8.0
T3	VPDo ≥ 800	NAEE_80 ≥ 8.0

El Manual de Carreteras de Perú, en sus Especificaciones Técnicas, (EG, 2013), deben cumplir con ciertas exigencias de calidad para los agregados, como se indica en la Tabla 6, aunque con diferencias bastante marcadas, la primera es que hay ensayos requeridos diferentes como el de adherencia, terrones de arcilla y partículas friables, sales solubles total y abrasión, segundo, no están relacionadas con ninguna categoría o nivel de tránsito, como si lo hacen las especificaciones colombianas.

Tabla 6 – *Exigencias calidad para agregados pétreos del MTC. (EG, 2013)*

Ensayos	Especificaciones
Partículas fracturadas del agregado grueso con una cara facturada (MTC E 210)	85% mín.
Partículas del agregado grueso con dos caras fracturadas (MTC E 210)	60% mín.
Partículas chatas y alargadas (ASTM D 4791-NTP 400.4)	15% máx.
Abrasión (MTC E 207)	40% máx.
Pérdida en sulfato de magnesio (MTC E 209)	18% máx.
Adherencia (ASTM D 1664-AASHTO T 182)	+95
Terrones de arcilla y partículas friables (MTC E 212)	3% máx.
Sales solubles total (MTC E 219)	0,5% máx.

Granulometrías

Aparte de las características de los agregados, estos deben cumplir con una gradación adecuada de acuerdo con franjas ya establecidas que se mencionaran posteriormente, esto no quiere decir que sea algo obligatorio, dado que se pueden usar especificaciones particulares aprobadas previamente.

Gradación – INVIAS

El Instituto Nacional de Vías en su cap. 4, artículos 430 y 431, plantea diferentes gradaciones según el tipo de tratamiento que se use, como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 7 – *Gradación para Tratamiento Superficial Simple. (INVIAS, 2013).*

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)					
	19.0	12.5	9.5	6.3	4.75	2.36
	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	No. 4	No. 8
	% PASA					
TSS – 19	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5
TSS – 13	-	100	90-100	10-40	0-15	0-5
Tolerancias en producción sobre la gradación definida en la fase de experimentación (±)	4 %					1 %

En la Tabla 7 se observa que hay dos gradaciones para Tratamiento Superficial Simple, donde el tamaño máximo nominal es de ¾" para un TSS-19 y ½" para un TSS-13, el tamaño mínimo para ambas gradaciones es de 2,36mm (Tamiz No. 8), esto quiere decir que el tipo de gradación TSS-13 es más fina.

Por otra parte, existen dos tolerancias de 4% y 1%, las cuales son empleadas luego de tener establecida una fórmula de trabajo.

Tabla 8 - *Gradación para Tratamiento Superficial Doble. (INVIAS, 2013).*

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)							
	25.0	19.0	12.5	9.5	6.3	4.75	2.36	1.18
	3/4"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	No. 4	No. 8	No. 16
	% PASA							
TSD – 25	100	90-100	10-45	0-15	-	0-5	-	-
TSD – 19	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-
TSD – 13	-	-	100	90-100	10-40	0-15	0-5	-
TSD – 10	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5
Tolerancias en producción sobre la gradación definida en la fase de experimentación (±)	4 %						1 %	

Igualmente se presenta la gradación para un Tratamiento Superficial Doble según lo mostrado en la Tabla 8, donde el TSD-10 es el material más fino con un tamaño máximo de agregado de 3/8", y la gradación más gruesa corresponde a un TSD-25 con un tamaño máximo de 1" (la tabla tiene un error en el tamaño del tamiz).

Gradación – IDU

En cuanto a la especificación 732-18 (pp. 4-6), los agregados combinados o mezcla de agregado grueso, agregado fino y llénate mineral, debe cumplir con las curvas granulométricas recomendadas según sea un Tratamiento Superficial Simple, Tratamiento Superficial Doble o Tratamiento Superficial Triple.

Al igual que se mostró anteriormente en las Tablas 7 y 8 de las especificaciones INVIAS, se observan tamaños máximos y tamaños mínimos nominales para cada mezcla, también hay tolerancias solicitadas que son usadas luego de tener una fórmula de trabajo establecida.

A continuación, se muestran las granulometrías en el siguiente orden, Tabla 9 para TSS, Tabla 10 para TSD y Tabla 11 para un TST.

Tabla 9 – *Gradación para Tratamiento Superficial Simple. (IDU, 2018).*

Tipo de mezcla	Tamiz (mm / U.S. Standard)							
	19	16	12.5	9.5	6.3	4.75	0.425	0.15
	3/4"	5/8"	1/2"	3/8"	1/4"	No. 4	No. 40	No. 100
	% Pasa							
TSS19	100	90-100	40-70	0-15	0-2			
TSS16		100	90-100	40-70	0-10	0-3		
TSS13			100	90-100	40-70	0-10	0-3	
Tolerancias	± 4.0						± 3.0	

Las gradaciones se diferencian de las mencionadas por el INVIAS en los rangos de los tamices, siendo las mencionadas en la Tabla 9 con un rango más corto, un ejemplo es la TSS19, que tiene un tamaño máximo de ¾" y un tamaño mínimo de ¼", mientras que la TSS-19 de la Tabla 7 va hasta un tamaño mínimo mucho más pequeño.

Otra diferencia es que en la Tabla 9 se manejan un tipo de mezcla intermedia (TSS16), y la TSS13 por el contrario maneja un rango de gradación más amplio, dicho de otra forma, no va hasta el tamiz No. 8 como en la Tabla 7, sino hasta el tamiz No. 40, adicional, la tolerancia en la parte fina de la mezcla es más alta, siendo de ±3%.

Tabla 10 – *Gradación para Tratamiento Superficial Doble. (IDU, 2018).*

Tipo de mezcla			Tamiz (mm / U.S. Standard)							
			19	16	12.5	9.5	6.3	4.75	0.425	0.15
			3/4"	5/8"	1/2"	3/8"	1/4"	No. 4	No. 40	No. 100
			% Pasa							
Arenas	Grueso	TSD19	100	80-100	50-80		0-10		0-1	
	Fino	TSD10-A				100	75-100	0-15	0-2	
Gravas	Grueso	TSD16		100	90-100		0-15	0-5	0-1	
	Fino	TSD10-G				100	95-100	30-60	0-10	0-2
Tolerancias			± 4.0						± 3.0	

Con respecto a la Tabla 8, las diferencias son significativas, aunque hay cuatro (4) mezclas, en la Tabla 10 las separa en arenas y gravas, y a su vez en grueso y fino.

Los rangos de los tamices también cambian entre sus aberturas máximas y mínimas, los tamices también contienen cambios, incluyendo el de 5/8", No, 40 y No. 100 y descartando otros como el No. 16, No. 8 y 1".

Tabla 11 – *Gradación para Tratamiento Superficial Triple. (IDU, 2018).*

Tipo de mezcla			Tamiz (mm / U.S. Standard)										
			37.5	31.5	25.4	19	16	12.5	9.5	6.3	4.75	0.425	0.15
			1 1/2"	1 1/4"	1"	3/4"	5/8"	1/2"	3/8"	1/4"	No. 4	No. 40	No. 100
			% Pasa										
Arenas	Grueso	TST38-A	100	90-100	40-80	15-45		0-5				0-2	
	Intermedio	TST16-A					100	90-100		20-45	0-5	0-2	
	Fino	TST10-A							100	85-100	0-15	0-3	
Gravas	Grueso	TST38-G	100	90-100	40-80	15-45		0-5		0-1			
	Intermedio	TST16-G					100	90-100		20-60	0-5	0-1	
	Fino	TST10-G							100	95-100	30-60	0-10	0-2
Tolerancias			± 4.0									± 3.0	

Al igual que con la gradación para el Tratamiento Superficial Doble, en la Tabla 10 también se dividen las mezclas en arenas y gravas y a su vez estas se dividen en grueso, intermedio y fino, dando lugar a seis (6) tipos de mezcla, cada una con gradaciones específicas.

Gradación – MTC

En el Manual de Carreteras, en las Especificaciones Generales solo se menciona una tabla con diferentes rangos de gradación o números de huso y una casilla donde menciona un rango de tamaño normal de agregado, como se muestra en la Tabla 12.

Contrario a lo mencionado en las tablas anteriores, no se discrimina por tipo de tratamiento y tampoco hace alguna clasificación por tipo de mezcla.

Tabla 12 – *Rangos gradación para TS. (EG, 2013)*

Nº de Huso	Tamaño Normal de agregado	Tipo de material (Porcentaje que pasa)								
		1 1/2 (37,5 mm)	1 (25,0 mm)	3/4" (19,0 mm)	1/2" (12,5 mm)	3/8" (9,5 mm)	Nº 4 (4,75 mm)	Nº 8 (2,36 mm)	Nº 16 (1,18 mm)	Nº 50 (300 um)
5	25,0 mm a 12,5 mm (1" a 1/2")	100	90-100	20-55	0-10	0-5				
6	19,0 mm a 9,5 mm (3/4" a 3/8")		100	90-100	20-55	0-15	0-5			
7	12,5 mm a 4,75 mm (1/2" a n.º 4)			100	90-100	40-70	0-15	0-5		
8	9,5 mm a 2,36 mm (3/8" a n.º 8)				100	85-100	10-30	0-10	0-5	
9	4,75 mm a 1,18 mm (n.º 4 a n.º 16)					100	85-100	10-40	0-10	0-5

Fuente: ASTM D 448

Requisitos Material bituminoso

Las especificaciones INVIAS en sus artículos 430 y 431, recomiendan usar emulsión catiónica de rotura rápida del tipo CRR-2 o una emulsión modificada con polímeros tipo CRR-2m para Tratamientos Superficiales Simples y Tratamientos Superficiales Dobles, las cuales deben cumplir los siguientes ensayos mencionados en la Tabla 13 y Tabla 14 respectivamente.

El transporte de la emulsión asfáltica se hará a granel y en carrotanques sin aislamientos ni calefacción, deben incluir un elemento apropiado para la toma de muestras, en cuanto al almacenamiento, se debe hacer en tanques cilíndricos verticales con tuberías de fondo para la carga y descarga, las cuales deben quedar opuestas según art. 411-13. (INVIAS, 2013, pp. 52).

Los tanques estarán dotados de ventilación para evitar que trabajen a presión, aparatos de medida y seguridad necesarios, al igual que los carrotanques tendrán una válvula para la toma de muestras y un elemento para la recirculación de la emulsión en el caso que estuviese almacenada por mucho tiempo.

Tabla 13 – *Especificaciones emulsiones asfálticas catiónicas. (INVIAS, 2013).*

ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN	NORMA DE ENSAYO INV	ROTURA RÁPIDA			
		CRR - 1		CRR - 2	
		Mín	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad Saybolt Furol a 25ºC, s Saybolt Furol a 50ºC, s	E-763	20 -	100 -	- 100	- 400
Contenido de agua, %	E-761	-	40	-	35
Estabilidad durante almacenamiento (24 horas), % Sedimentación a los 5 días, %	E-764	-	1 5	-	1 5
Destilación Contenido de asfalto residual, % Contenido de aceite, %	E-762	60 -	- 3	65 -	- 3
Tamizado Retenido tamiz No. 20 (850 m), %	E-765	-	0.10	-	0.10
Demulsibilidad, %	E-766	40	-	40	-
Rotura en ensayo de mezcla con cemento, %	E-770	-	-	-	-
Carga de partícula	E-767	Positiva		Positiva	
pH	E-768	-	6	-	6
Cubrimiento del agregado y resistencia al desplazamiento - Con agregado seco - Con agregado seco y acción del agua - Con agregado húmedo - Con agregado húmedo y acción del agua	E-769	 - - - -	 - - - -	 - - - -	 - - - -
Ensayos sobre el residuo de destilación					
Penetración (25º C ,100 gr, 5 s), 0.1 mm - ARD - ARB	E-706	 60 100	 100 250	 60 100	 100 250
Ductilidad (25º C ,5 cm/min) , cm	E-702	40	-	40	-
Solubilidad en tricloroetileno, %	E-713	97.5	-	97.5	-

Las recomendaciones de transporte y almacenaje de la emulsión modificada con polímeros CRR-2m, son las mismas que se usaron para la emulsión catiónica de rotura rápida CRR-2, y las especificaciones se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14 – *Especificaciones emulsiones asfálticas catiónicas modificadas con polímeros. (INVIAS, 2013).*

ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN	UNIDAD	Norma de ensayo INV	ROTURA RÁPIDA			
			CRR – 1m		CRR – 2m	
			Mín	Máx	Mín	Máx
Viscosidad: Saybolt Furol a 25° C Saybolt Furol a 50° C	 s s	E-763	 - 20	 - 100	 - 20	 - 300
Contenido de agua en volumen	%	E-761	-	40	-	35
Estabilidad durante almacenamiento (24 horas), Sedimentación a los 5 días,	%	E-764	-	1 5	-	1 5
Destilación: Contenido de asfalto residual Contenido de disolventes	 % %	E-762	 60 -	 - 3	 65 -	 - 3
Tamizado Retenido tamiz No 20 (850 m)	 %	E-765	-	0.1	-	0.1
Rotura Dioctilsulfosuccinato sódico Mezcla con cemento	 % %	 E-766 E-770	 40 -	 - -	 40 -	 - -
Carga de partícula		E-767	Positiva		Positiva	
pH		E-768	-	6	-	6
Recubrimiento del agregado y resistencia al desplazamiento Con agregado seco Con agregado seco y acción del agua Con agregado húmedo Con agregado húmedo y acción del agua		E-769	 - - - -	 - - - -	 Buena Satisfactoria Satisfactoria Satisfactoria	
Ensayos sobre el residuo de destilación		E-771				
Penetración (25° C ,100 gr, 5 s)	0.1 mm	E-706	60 100	100 250	60 100	100 250
Punto de ablandamiento con aparato de anillo y bola	° C	E-712	55 45	-	55 45	- -
Ductilidad (25° C , 5cm/min)	cm	E-702	10	-	10	-
Recuperación elástica por torsión 25° C.	%	E-727	12	-	12	-

El IDU al igual que lo hacen las especificaciones del INVIAS, recomienda una emulsión catiónica de rompimiento rápido del tipo CRR-2 o modificada con polímeros CRR-2m, la diferencia radica en los valores especificados para cada ensayo, como se muestra en la Tabla 15 y Tabla 16.

Tabla 15 – *Especificaciones emulsiones catiónicas. (IDU, 2018).*

Tipos de emulsiones	Norma de Ensayo INV -13	Rompimiento rápido			
		CRR - 1		CRR - 2	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ensayo sobre Emulsión					
Viscosidad	E-763				
Saybolt Furol a 25 °C S		-	-	-	-
Saybolt Furol a 50 °C S		20	100	20	300
Contenido de agua en volumen %	E-761	-	40	-	35
Estabilidad Almacenamiento Sedimentación a los 7 días %	E-764	-	5	-	5
Destilación Contenido de Asfalto Residual %	E-762	60	-	65	-
Contenido de disolventes %		-	3	-	3
Tamizado Retenido Tamiz 20 (850 µm)	E-765	-	0.1	-	0.1
Rotura Dioctilsulfosuccinato sódico %	E-766	40	-	40	-
Mezcla con cemento %	E-770	-	-	-	-
Carga Partícula	E-767	Positiva		Positiva	
PH	E-768	-	6	-	6
Recubrimiento del agregado y resistencia al desplazamiento Con agregado seco	E-769	-	-	-	-
Con agregado seco y acción del agua		-	-	-	-
Con agregado húmedo		-	-	-	-
Con agregado húmedo y acción del agua		-	-	-	-
Ensayos sobre el Residuo de Destilación					
Penetración (25 °C,100gr,5s) 0.1 mm	E-706	60 100	100 250	60 100	100 250
Ductilidad (25ºC,5cm/m) cm.	E-702	40	-	40	-
Solubilidad en tricloroetileno %	E-713	97	-	97	-

Tabla 16 – *Especificaciones emulsiones asfálticas modificadas con polímeros. (IDU, 2018).*

Tipos de emulsiones	Unidad	Norma de Ensayo INV-13	Rompimiento rápido			
			CRR-1m		CRR-2m	
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ensayos sobre la Emulsión						
Viscosidad Saybolt Furol		E-763				
a 25 °C	s					
a 50 °C	s		20	100	20	300
Contenido de agua en volumen	%	E-761	-	40	-	35
Estabilidad en almacenamiento		E-764				
Sedimentación a los 7 días	%		-	5	-	5
Destilación		E-762				
Contenido de asfalto residual	%		60	-	65	-
Contenido de disolventes	%		-	3	-	3
Tamizado		E-765				
Retenido en tamiz nº 20 (850 μm)	%		-	0.1	-	0.1
Rotura						
Dioctilsulfosuccinato sódico	%	E-766	40	-	40	-
Mezcla con cemento	%	E-770	-	-	-	-
Carga partícula		E-767	Positiva		Positiva	
pH		E-768	-	6	-	6
Recubrimiento del agregado y resistencia al desplazamiento		E-769				
Con agregado seco			-	-	Buena	
Con agregado seco y acción del agua			-	-	Satisfactoria	
Con agregado húmedo			-	-	Satisfactoria	
Con agregado húmedo y acción del agua			-	-	Satisfactoria	

NOTA: Se debe realizar al menos una vez al mes curva reológica.

Las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción del Manual de Carreteras de Perú, no define claramente que tipo de emulsión usar, deja la decisión a lo que se mencione en el diseño del tratamiento, sin embargo, menciona los parámetros para cada tipo de emulsión, sea catiónica o modificada con polímeros como se evidencia en la Tabla 17 y 18.

Tabla 17 – *Especificaciones para emulsiones catiónicas. (EG, 2013)*

Tipo	Rotura Rápida				Rotura Media			
Grado	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Prueba sobre Emulsiones								
- Viscosidad Saybolt Furol a 25ºCs	-	-	-	-	-	-	-	-
- Viscosidad Saybolt Furol a 50ºCs	20	100	100	400	50	450	50	450
- Estabilidad de Almacenamiento, 24h,%(**)	.	1		1		1		1
Demulsibilidad, 35 cm^3, 0.8% Dioctilsulfosuccinato sódico, %	40	-	40	-	-	-	-	-
- Revestimiento y Resistencia al agua:								
- Revestimiento agregado seco					Bueno		Bueno	
- Revestimiento, agregado seco después del rociado					Aceptable		Aceptable	
- Revestimiento, agregado húmedo					Aceptable		Aceptable	
- Revestimiento, agregado húmedo después del rociado					Aceptable		Aceptable	
Carga de partícula	Positivo		Positivo		Positivo		Positivo	
Prueba de Tamiz % (**)	-	0,1	-	0,10	-	0,10	-	0,10
Mezcla con Cemento, %								
Destilación:								
- Destilación de aceite, por volumen de emulsión	-	3	-	3	-	12	-	12
- % Residuo	60	-	65	-	65	-	65	-
Pruebas sobre el Residuo de destilación:								
- Penetración, 25ºC, 100 g, 5s	100(a) 50(a)	250(a) 150(a)	100(a) 50(a)	250(a) 150(a)	100	250	40	90
- Ductilidad, 25ºC, 5 cm/min, cm	40		40		40		40	
- Solubilidd en Tricloretileno, %	97,5		97,5		97,5		97,5	

Tabla 18 – *Especificaciones para emulsiones catiónicas con polímeros. (EG, 2013)*

Tipo	Rotura Rápida				Rotura Media			
Grado	CRS-1P		CRS-2P		CMS-1P		CMS-2hP	
	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.
Prueba sobre Emulsiones								
- Viscosidad Saybolt Furol a 25ºCs	-	-	-	-	-	-	-	-
- Viscosidad Saybolt Furol a 50ºCs	20	-	20	-	20	-	20	-
- Estabilidad de Almacenamiento, 24h,%(**)	-	1	-	1	-	1	-	1
Carga de partícula	Positivo		Positivo		Positivo		Positivo	
Residuo de evaporación, %	60		65		59		57	
Sedimentación (a los 7 días), %		5		5		5		5
Prueba de tamiz, %		0,1		0,1		0,1		0,1
Mezcla con Cemento, %								
- Revestimiento y Resistencia al agua:								
- Revestimiento agregado seco					Bueno		Bueno	
- Revestimiento, agregado seco después del rociado					Aceptable		Aceptable	
- Revestimiento, agregado húmedo					Aceptable		Aceptable	
- Revestimiento, agregado húmedo después del rociado					Aceptable		Aceptable	
Pruebas sobre el residuo de Evaporación:								
- Penetración, 25ºC, 100 g, 5s	100(a) 50(a)	200(a) 90(a)	100(a) 50(a)	200(a) 90(a)	100	220	50	90
- Punto de ablandamiento (A y B), °C	45		45		40		40	
-Ductilidad, 25ºC, 5 cm/min, cm	≥ 10							
- Recuperación elástica, 25 ° C, %	≥ 30							
- Recuperación elástica, 25 ° C, por torsión, %	≥ 20							

En la Tabla 17 y Tabla 18, solo se mostraron las emulsiones de rotura rápida y rotura media, teniendo en cuenta como se describió anteriormente, que lo usual es usar emulsiones tipo CRR o Cationic Rapid Setting [CRS] como se denominan según la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales [ASTM].

En cuanto al material bituminoso, según su aplicación y tipo de tratamiento, debe ser calentado de manera general, para ello se tendrán en cuenta algunos rangos de temperatura mencionados en la Tabla 19.

Tabla 19 – *Rangos de temperatura de aplicación. (EG, 2013).*

Tipo y Grado del Asfalto	Temperaturas de Esparcido [2]		Temperaturas de Mezclado en Planta [1]	
Asfaltos Diluidos	Mezclas in situ	Tratamientos superficiales	Mezclas Densas	Mezclas Abiertas
MC-30	-.-	30	-.-	-.-
RC-70 o MC-70	20	50	-.-	-.-
RC-250 o MC-250	40	75	55-80	-.-
RC-800 o NC-800	55	95	75-100	-.-
Emulsiones Asfálticas				
CRS-1	-.-	50-85	-.-	
CRS-2	-.-	50-85	-.-	
CMS-2	20-70	-.-	10-70	
CMS-2h, CSS-1, CSS-1h	20-70	-.-	10-70	
Cemento Asfáltico Todos los grados	140 máx (4)		140 máx (4)	

NOTA. (1) Temperatura de mezcla inmediatamente después de preparada. (2) La máxima temperatura deberá estar debajo de aquella en la que ocurre vapores o espuma. (3) En algunos casos la temperatura de aplicación puede estar por encima del punto de inflamación. Por tanto, se debe tener precaución para prevenir fuego o explosiones. (4) Se podrá variar esta temperatura de acuerdo a la carta de viscosidad-temperatura. Tomado de MS-16-Asphalt Institute.

Características Aditivos Mejoradores Adherencia

Tanto la especificación IDU 732-18 como las especificaciones INVIAS 430-13 y 431-13, en sus características para los agregados, proponen unos parámetros por *Adhesividad,* en el caso que no se cumplan se puede recurrir a los mejoradores de adherencia, los cuales deben ajustarse a lo mencionado en el artículo 412-13, cap. 4 de las Especificaciones Generales de Construcción.

Se recomienda que estos aditivos sean almacenados en silos cuando es a granel, deben estar protegidos contra la humedad, con dispositivos para el llenado o vaciado, de igual forma la especificación menciona lo siguiente:

> El depósito de los aditivos suministrados en bolsas o canecas deberá ser ventilado y cubierto y disponer de los elementos que aseguren la protección del producto contra los agentes atmosféricos, particularmente la humedad proveniente tanto del suelo como de las paredes del almacén. (INVIAS, 2013, p.60)

La adición de estos aditivos en un Tratamiento Superficial debe hacerse en una proporción definida de acuerdo con un diseño previamente establecido y, por consiguiente, siguiendo los parámetros y procedimientos mencionados por el fabricante,

Se deben cumplir con unos controles generales para el uso de los aditivos:

- El constructor debe cumplir con la legislación ambiental vigente, así como la seguridad industrial, almacenamiento y transporte.
- Llevar un registro detallado de los lotes almacenados, del mismo modo estar pendiente del vencimiento de los productos evitando usar alguno ya vencido.

- Estar atento a su dosificación, evitando que no se altere su calidad.
- Tomar muestras del producto para realizar las pruebas necesarias según lo dictamine el Interventor.

En ninguna circunstancia se aceptarán tolerancias en la dosificación de los aditivos, verificando que siempre se satisfagan los parámetros exigidos en la especificación.

El Manual de Carreteras de Perú, en sus Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción, plantea las siguientes apreciaciones respecto a los aditivos mejoradores de adherencia.

- Se puede emplear Cal tipo I y II (AASHTO M303), Base tipo amina, Cenizas (AASHTO M295) y otros productos certificados.
- El mejorador debe garantizar la afinidad requerida asfalto-agregado, de usarse aditivos líquidos deben ser homogéneos sin presentar separaciones de fase.
- El rendimiento del aditivo en cada uno de los diseños de la mezcla será evaluado según AASHTO T283, como se menciona en la siguiente tabla, este ensayo debe ser efectuado teniendo en cuenta la aplicación de los ciclos completos de congelamiento y calentamiento.

Tabla 20 – *Efectividad de los aditivos. (EG, 2013, p. 692).*

Ensayos	Norma	Requerimiento
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta (**)	AASHTO T 283*	80 mín.

- Si se utilizara Cal tipo I o II, se deben cumplir las indicaciones de las Tablas 21 y 22.

Tabla 21 – *Requerimientos para Cal Tipo I y Cal Tipo II. (EG, 2013, p. 692).*

Requerimiento	% en masa
Contenido mínimo de Cal Activa (% en masa) (% $Ca(OH)_2$ +% $Ca(O)^{\alpha}$)	90
Contenido máximo de Cal Deshidratada (% en masa de CaO)	7
Contenido máximo de Agua (% en masa de H_2O)	3

No se permite más del 7% en masa de óxido de calcio (cal deshidratada) en la determinación del contenido total de cal activa.

Tabla 22 – *Requerimientos para Cal Tipo II. (EG, 2013, p. 692).*

Requerimiento	%
Contenido mínimo de residió de ignición de Óxido de Calcio y Magnesio (%$^{\alpha}$)	96
Contenido máximo de Dióxido de Carbono (de base recibida)	7
Contenido máximo de oxido de calcio deshidratado (de base recibida)	3

La ignición a masa constante será realizada en horno eléctrico a temperaturas de 1000-1100 ˚C (1800-2000. ˚F)

Los demás requerimientos y apreciaciones son los mismos que se mencionaron anteriormente para las especificaciones IDU e INVIAS.

Ejecución de los Trabajos

A continuación, se describe el procedimiento para la ejecución de un Tratamiento Superficial Simple, Tratamiento Superficial Doble y Tratamiento Superficial Triple, y todo lo que se debe tener en cuenta.

Tramo Experimental o Fase de Experimentación

El Instituto de Desarrollo Urbano en su especificación 600-18, numeral 600.5, aclara que el tramo experimental sirve para verificar la calidad, rendimiento y buen funcionamiento de los equipos y personal, verificar compactaciones, densidades, espesores, cumplir con

tolerancias, ejecución de ensayos para dosificaciones de ligantes, gravas y aditivos (de ser necesarios), verificar tiempos de rotura y curado, juntas y en general comprobar la buena entrega del tratamiento, de no cumplirse lo mencionado, se repetirá hasta ajustar y ser aceptado por el Interventor.

En relación con el INVIAS, en su artículo 400, numeral 400.4.3 (pp. 24-25), menciona que el constructor antes de iniciar obras debe verificar equipos y por medio de una sección de ancho y longitud definidas por el Interventor, donde se compruebe el transporte, colocación, compactación, curado (indispensable para la apertura del tránsito), toma de muestras, verificando todos los parámetros, todo esto para poder efectuar las correcciones necesarias y la aceptación del Interventor.

En relación a las Especificaciones Técnicas Generales de MTC, en las sección 415, en su numeral 415.06, se hacen prácticamente las mismas sugerencias mencionadas antes por el INVIAS e IDU en sus respectivas especificaciones, con la salvedad que ellos no tienen la figura de Interventor sino Supervisor, además menciona el transporte de los residuos de los tramos de prueba defectuosos a los Depósitos de Material Existente [DME], los elementos de protección a trabajadores, cerramientos para evitar el ingreso de personas ajenas al proyecto, o tránsito no permitido.

Explotación de Materiales

El Contratista es quien debe proveer los materiales a usar en la obra, garantizando que estos cumplan con las características y ensayos (cada que se requiera) definidos en la especificación, de igual forma se debe contar con la aprobación del Interventor/Supervisor para

su uso, asimismo se debe informar su procedencia, plantas o mezclas que tengan los materiales con suficiente antelación, lo mismo que cualquier cambio durante la ejecución de los trabajos, garantizando una calidad igual o superior a la requerida.

Todo trabajo rechazado sea por calidad en los materiales, procesos constructivos o equipos, serán reparados por cuenta y costo del Constructor/Contratista de obra dentro del plazo solicitado, además se debe retirar y disponer del material rechazado sin costo adicional.

Dosificación del Tratamiento

Las dosificaciones deben estar establecidas bajo un diseño que involucre las condiciones climáticas y materiales, el empleo de aditivos y en general todas las condiciones y características deben estar aprobadas por el Supervisor/Interventor, sin embargo, algunas entidades proponen dosificaciones referenciales para este tipo de tratamientos como se muestra a continuación.

Tabla 23 – *Dosificación para tratamientos superficiales simples, dobles y triples. (IDU, 2018)*

Tamaño nominal del agregado (mm)	Cantidad de agregado (kg/m^2)	Cantidad de asfalto (l/m^2)
19-19.5	22-27	1.8-2.3
15.9-4.75	14-16	1.4-2.0
12.7-1.18	11-14	0.9-1.6
9.5-2.36	11-14	0.9-1.6
4.75-1.18	8-11	0.7-0.9
Arena fina	5-8	0.5-0.7

Tabla 24 – *Dosificación para tratamientos superficiales simples. (INVIAS, 2013)*

TIPO DE GRADACIÓN	DOSIFICACIÓN (l/m^2)	
	AGREGADOS	LIGANTE RESIDUAL
TSS – 19	8-10	0.9-1.3
TSS – 13	6-8	0.7-1.1

ESPECIF

Tabla 25 – *Dosificación para tratamientos superficiales dobles. (INVIAS, 2013)*

TIPO	APLICACIÓN	AGREGADOS		LIGANTE RESIDUAL (l/m^2)
		GRADACIÓN	DOSIFICACIÓN (l/m^2)	
1	Primera Segunda	TSD-25 TSD-13	12 – 14 6 – 8	1.3 – 1.8 0.8 – 1.2
2	Primera Segunda	TSD-19 TSD-10	8 – 10 5 – 7	0.9 – 1.3 0.7 – 1.0

Tabla 26 – *Cantidades aproximadas de material para tratamiento superficial simple [TS]. (EG, 2013)*

Tamaño Nominal de agregado	Nº Huso [b] Granulométrico	Cantidad de Agregado m^3/m^2	Cantidad de [a] Asfalto l/m^2	Tipo y Grado de Asfalto	
				Tiempo cálido (+26,7ºC)	Tiempo frío (06 a 26,7ºC)
25,0 mm a 12,5 mm (1" a 1/2")	5	0,017	1,90	MC 3000 RC 3000 RS 2 CRS 2 PEN 120-150	MC 3000 RC 3000 RS 2 CRS 1, 2 PEN 120-150
19,0 mm a 9,5 mm (3/4" a 3/8")	6	0,012	1,68	MC 3000 RC 3000 RS 2 CRS 1, 2 PEN 120-150	MC 800 RC 800 RS 2 CRS 1, 2
12,5 mm a 4,75 mm (1/2" a n.° 4)	7	0,008	1,04	MC 3000 RC 800, 3000 RS 2 CRS 1, 2 PEN 200-300	MC 800 RC 250,800 RS 2 CRS 1, 2
9,5 mm a 2,36mm (3/8" a n.° 8)	8	0,006	0,86	RC 250, 800 RS 1, 2 CRS 1, 2	RC 250, 800 RS 1, 2 CRS 1, 2
4,75 mm a 1,18 mm (n.° 4 a n.° 16)	9	0,004	0,59	RC 250, 800 RS 1, 2 CRS 1, 2	RC 250, 800 RS 1, 2 CRS 1, 2

Tabla 27 – *Cantidades aproximadas de materiales para Tratamientos Superficiales Dobles. (EG, 2013).*

Aplicaciones	Tamaño Nominal del agregado	Nº Huso [b] Granulométrico	Cantidad de Agregado m^3/m^2	Cantidad de [a] Asfalto l/m^2
Primera Aplicación	25,0 mm a 12,5 mm (1" a 1/2")	5	0,017	1,90
Segunda Aplicación	12,5 mm a 4,75 mm (1/2" a n.° 4)	7	0,008	1,18
Primera Aplicación	19,0 mm a 9,5 mm (3/4" a 3/8")	6	0,012	1,68
Segunda Aplicación	9,5 mm a 2,36mm (3/8" a n.° 8)	8	0,006	0,91

Tabla 28 – *Cantidades aproximadas de materiales para Tratamientos Superficiales Triples. (EG, 2013).*

Aplicaciones	Tamaño Nominal del agregado	Nº Huso [b] Granulométrico	Cantidad de Agregado m^3/m^2	Cantidad de [a] Asfalto l/m^2
Primera Aplicación	25,0 mm a 12,5 mm (1" a 1/2")	5	0,017	1,90
Segunda Aplicación	12,5 mm a 4,75 mm (1/2" a n.° 4)	7	0,008	1,18
Tercera Aplicación	4,75 mm a 1,18 mm (N° 4 a n.° 16)	9	0,004	0,63
Primera Aplicación	19,0 mm a 9,5 mm (3/4" a 3/8")	6	0,012	1,68
Segunda Aplicación	9,5 mm a 2,36mm (3/8" a n.° 8)	8	0,006	0,91
Tercera Aplicación	4,75 mm a 1,18 mm (n.° 4 a n.° 16)	9	0,004	0,63

Preparación de la Superficie Existente

Antes de autorizar el primer riego de emulsión, la superficie a tratar debe cumplir con todos los requisitos especificados de conformación, compactación y acabado, tener en cuenta el exceso de humedad, cualquier irregularidad debe ser corregida antes de comenzar con el tratamiento con aprobación del Interventor, será a costo del Constructor si esta capa ha sido conformada bajo el mismo contrato, de no ser así, se acuerda un precio.

La superficie debe estar completamente limpia de polvo, barro seco, suciedad o cualquier material que perjudique la superficie, usando un equipo de limpieza aprobado.

INVIAS en su especificación, añade que, si la superficie requiere una imprimación previa, se debe hacer de acuerdo con lo mencionado en el art. 420, donde se menciona que el terreno debe estar sin imperfecciones y limpio de cualquier partícula que afecte su funcionamiento, tampoco se puede iniciar la construcción del tratamiento mientras la imprimación no haya completado el curado o antes de 24 horas de su aplicación.

El MTC en sus Especificaciones Generales, da a entender que el riego de imprimación es obligatorio antes de comenzar el tratamiento, teniendo en cuenta las mismas recomendaciones mencionadas previamente por el INVIAS.

Aplicación del Ligante o Emulsión Asfáltica

Antes de comenzar la aplicación, se debe revisar el equipo y boquillas, si es necesario, realizar un calentamiento previo de las mismas. Por otra parte, se debe demarcar con una línea guía el comienzo del riego, se recomienda usar un papel grueso de ancho mayor o igual a un metro para evitar el doble riego, asimismo usar papel de las mismas características al terminar un tramo.

La dosificación se hará de manera uniforme a una temperatura que corresponda a una viscosidad Saybolt-Furol, comprendida entre veinticinco y cien segundos (25 sSF a 100 sSF), protegiendo todos los elementos ajenos a la aplicación del ligante como bordillos, vayas, arboles, si la zona es de difícil acceso, el equipo debe contar con distribución manual, el equipo debe quedar limpio para su uso en la siguiente jornada de trabajo.

El INVIAS hace aclaraciones para el riego de la segunda capa, donde menciona que se debe realizar dentro de las siguientes veinticuatro (24) horas luego de la conformación de la primera capa, por otro lado, el ancho de la franja debe variar respecto a la primera en aproximadamente veinte (20 cm), evitando superposición de la junta longitudinal.

Figura 2 – *Distribuidor de Asfalto. (E. D. ETNYRE & CO)*

Reproducido de: https://www.etnyre.com/asphalt-distributors/

Extensión del Agregado Grueso

El IDU menciona en su especificación 732-18 (p. 9), que, para la dosificación, emplear una tela o tablero de 1m² que se cubrirá con el agregado de mayor tamaño o de primer riego, evitando superposición del este, esto se hace con el fin de determinar la dosificación en m3 por m², recomendando hacer este proceso tres (3) veces y tomar el promedio sumándole un 5% de perdida por transporte y proceso constructivo.

Para la extensión del agregado, se debe garantizar su uniformidad en la cantidad previamente establecida, y se debe realizar inmediatamente luego del riego del ligante o emulsión, evitando que la gravilladora u otro equipo pase por la superficie irrigada sin cubrir.

Los agregados deben garantizar una humedad tal, que permita una adecuada adherencia con la emulsión, en caso que el ligante se aplique por franjas, se debe dejar un ancho entre 15cm o 20cm en la zona aledaña que no hubiese recibido el riego, con el propósito de completar la dosificación al momento de tratar esa franja.

Figura 3 – *Gravilladora. (UPV)*

Reproducido de: https://victoryepes.blogs.upv.es/files/2019/04/gravilladora-hidrostatica-rosco-11.jpg

Aplicación Conjunta Emulsión – Agregado

Para esto se requiere de un equipo multidistribuidor, las consideraciones son las mismas mencionadas para el riego de la emulsión y la extensión del agregado, a excepción que pase el transito o cualquier vehículo sobre la capa de ligante recién aplicada, teniendo en cuenta que la aplicación se hace en una sola operación.

Figura 4 – *Multidistribuidor de Agregado. (ROMANELLÍ)*

Reproducido de: https://www.romanelli.com.br/es/equipamentos/multi-distribuidor-de-agregado-

Compactación

Estas labores se hacen con rodillo neumático, no usar rodillo cilíndrico con el fin de no romper el agregado. Se debe comenzar la compactación inmediatamente luego de la extensión del agregado, en un periodo de tiempo de treinta (30) minutos contados apenas este colocado el agregado en la vía.

Como recomendación, se debe comenzar por las franjas externas avanzando hacia el centro, traslapando en aproximadamente 1/3 de la capa anterior, para zonas con peraltes, inicial desde la parte interna hacia la externa.

En ideal al momento de efectuar el tramo de prueba, definir la fórmula de trabajo, determinando el número de pasadas, evitando así agrietamientos del agregado por exceso o un posicionamiento final que no corresponda.

Figura 5 – *Compactador neumático. (GECOLSA – CAT, 2020)*

Reproducido de: https://gecolsa.com/equipos/detalle/caterpillar-cw34-289-18359786-rodillo-neumatico-cw/

Acabado y Limpieza

Habiendo terminado la compactación y comprobando que la cohesión del agregado sea óptima para el paso del tránsito, se debe eliminar por barrido los granulares que hayan quedado sueltos y demás elementos resultantes del proceso, de igual forma, pasados quince (15) días de la apertura de la vía, realizar un barrido definitivo, el material sobrante debe ser dispuesto por el Constructor en un sitio autorizado.

Apertura del Tránsito

Se puede abrir la vía al tránsito pasadas veinticuatro (24) horas luego de haber conformado el Tratamiento Superficial, así garantizar un mejor acabado, en lugares donde definitivamente no sea posible cumplir este tiempo, se puede dar apertura luego de pasadas mínimo dos (2) horas, antes de eso no, con la limitante, que los vehículos no deben circular a más de treinta kilómetros por hora (30 km/h).

Limitaciones en la Ejecución

No se debe realizar la construcción del Tratamiento Superficial en temperaturas menores a 5 grados Celsius (5°C), cuando haya lluvia o gran probabilidad que ocurra.

Los trabajos nocturnos no son aconsejables, de ser necesario, es posible realizarlos siempre y cuando el Constructor garantice una iluminación artificial que permita realizar los trabajos, de no ofrecer dicha garantía, se debe disponer de más equipos o personal para cumplir con los tiempos establecidos de ser esa la causa de la petición del trabajo nocturno.

Manejo Ambiental

Teniendo en cuenta lo mencionado por las especificaciones 732-18 del IDU, 430-13 y 431-13 del INVIAS, se hacen las siguientes recomendaciones:

Ligantes

- Deben depositarse lejos de cualquier fuente de agua, del mismo modo los residuos de los carrotanques, tampoco verter en alcantarillas o zonas d derecho de vía, deben ser lugares especiales para tal fin, en caso de derrame accidental, retirar junto con el material contaminado.
- Evitar calentar en exceso la emulsión.
- Los trabajadores que estén en contacto con este tipo de sustancias deben tener los implementos de protección personal necesarios.

Materiales Pétreos

- Para el uso de agregados, se debe tener la copia autentica de la licencia ambiental de la cantera donde se extrajo el material y ser revisada por el Interventor.

- Se debe planear con antelación el abastecimiento de material pétreo, minimizando cualquier daño ambiental, facilitando la recuperación del lugar de extracción, tampoco se permite la quema como método de desmonte de un área a explotar.
- Se debe retirar la capa vegetal del lugar de extracción de material cuidadosamente, con el fin de recuperar el lugar al terminar los trabajos.
- No es permitido verter ningún tipo de material sobre fuentes o láminas de agua.
- Si es necesario el uso de plantas de trituración portátiles, deben cumplir con toda la reglamentación para su funcionamiento, y un buen manejo de todos los residuos generados por la misma para el procesamiento de los agregados, y estar ubicadas en lugares que no sean ambientalmente sensibles.
- Limitar al máximo los trabajos nocturnos, así como un control adecuado de los niveles de ruido.
- Al terminar los trabajos, se deben deshacer todas las construcciones o cambios hechos al lugar, restaurando el paisaje y la vegetación.

Transporte de Materiales Contaminantes o Peligrosos

- Combustibles, lubricantes, explosivos, asfaltos y derivados, aguas servidas sin tratar, desechos o basuras, deben transportarse, adoptando todas las medidas de seguridad evitando derrames, perdidas, daños por lluvia, hurtos o incendios.
- El Constructor deben cumplir con toda la reglamentación y disposición de tránsito y medio ambiente, exigidos por las autoridades competentes, como es el caso del Ministerio de Transporte y el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ejecución de Riegos

- Tener en cuenta la viscosidad del ligante, evitando que se derrame o fluya a las cunetas o zonas aledañas que no serán tratadas.
- Se debe realizar un barrido adecuado en los Tratamientos Superficiales, evitando que cualquier elemento que quede en la vía pueda llegar a afectar a otros vehículos o zonas aledañas, de igual forma los equipos de limpieza deben ser autorizados por el Interventor previamente.

Conservación y/o Reparaciones

Todos los defectos no advertidos (juntas, protuberancias, depresiones, irregularidades en el alineamiento, entro otros) o daños que se lleguen a presentar durante la ejecución del Tratamiento Superficial, sea por descuido, falta de previsión o negligencia, deben ser reparados por el Contratista sin costo adicional, con aprobación del Interventor.

Condiciones para el Recibo de los Trabajos

Primero, se deben tener en cuenta todos los requisitos mencionados anteriormente para los materiales de construcción de un Tratamiento Superficial, agregados, ligante o emulsión y aditivos si se requirieran.

Segundo, haber validado el o los diseños de mezcla, así como haber garantizado una correcta implementación de los métodos constructivos durante la conformación de cada uno de los tramos realizados, de igual forma verificar la calidad de todos los materiales por medio de los ensayos ya mencionados.

El Interventor debe validar las temperaturas, las condiciones físicas de los materiales y su aspecto al momento de la construcción, evitando irregularidades como segregación, espuma, sobrecalentamiento, verificar la uniformidad de las capas, pendientes, peraltes, anchos del tratamiento de acuerdo con el eje de la vía y espesores, y acabados en general.

Todas las mediciones y ensayos deben estar a cargo del Interventor, los lugares donde existan irregularidades y excedan las tolerancias permitidas deben ser corregidas por el Constructor sin costo adicional y validadas por el Interventor.

Calidad del Ligante o Emulsión

Se debe verificar todo lo mencionado en la descripción hecha sobre este material y recomendaciones de almacenamiento y transporte, del mismo modo cumplir con los parámetros dados en la Tablas 13 a la Tabla 19.

Por otra parte, el Interventor debe comprobar en cada entrega, el tipo de emulsión, su contenido de agua y la penetración, así como guardar una muestra contraste para ensayar y corroborar posteriores inconformidades de presentarse; si la emulsión permanece almacenada se deben realizar pruebas para su uso y cumplir con los requerimientos ya mencionados, es conveniente resaltar que la emulsión sin importar el tipo debe tener una certificación por parte del fabricante.

Calidad de los Agregados Pétreos

Deben cumplir con lo mencionado en las características ya mencionadas, así como con todos los requerimientos y granulometrías relacionados en la Tabla 2 a la Tabla 12.

Es necesario tener en cuenta algunas recomendaciones adicionales, como los acopios de material, que no tengan ningún material extraño o contaminante, la altura de estos y elementos separadores. En el caso que un agregado no de resultados satisfactorios, se tomaran dos (2) muestras para ensayarlas y corroborar, ambos resultados deben cumplir, de lo contrario el Interventor está en la facultad de no usar ese material.

INVIAS en su especificación 430-13 y 431-18, menciona parámetros para aceptar o rechazar un "lote" de acuerdo con los siguientes criterios, quinientos metros lineales de tratamiento construido (500m), tres mil quinientos metros cuadrados de tratamiento construido (3500m^2) o la obra ejecutada en una jornada de trabajo, se escoge el que resulte menor.

Por lote, se plantea en la siguiente tabla, los ensayos de verificación.

Tabla 29 – *Ensayos de verificación de agregados para TSS. (INVIAS, 2013)*

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
Composición (F)		
Granulometría	E-123	1 por jornada
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Coeficiente de pulimiento acelerado	E-232	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza (F)		
Contenido de impurezas	E-237	1 por jornada
Geometría de las partículas (F)		
Índices de alargamiento y aplanamiento	E-230	1 por semana
Porcentaje de caras fracturadas	E-227	1 por semana

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Tabla 30 – *Ensayos de verificación de agregados para TSD. (INVIAS, 2013)*

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
Composición (F)		
Granulometría	E-123	1 por jornada
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Coeficiente de pulimiento acelerado	E-232	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza (F)		
Contenido de impurezas	E-237	1 por jornada
Geometría de las partículas (F)		
Índices de alargamiento y aplanamiento	E-230	1 por semana
Porcentaje de caras fracturadas	E-227	1 por semana

INVIAS también se verifican otros factores como, dosificaciones de asfalto y agregado según normas INV E-818 e INV E-819 respectivamente según áreas determinadas previamente, también se revisa la textura según norma INV E-791 en sitios escogidos al azar, igualmente pruebas de resistencia al deslizamiento con péndulo británico mediante ensayo INV E-792, como un Tratamiento Superficial no está hecho para corregir la regularidad superficial, se debe arreglar antes de colocar cualquier capa posterior.

En cuanto al IDU, también plantea una periodicidad de los ensayos de verificación que se les debe hacer a los agregados como se evidencia en la Tabla 31.

Tabla 31 – *Ensayos mínimos de verificación sobre los agregados para TS. (IDU, 2018)*

Ensayo	Norma de Ensayo	Cantidad de ensayos por obra realizada		Criterio de aceptación	
		Contratista de Obra	Interventor	Promedio muestras	Determinación individual
Composición					
Granulometría (Nota 1)	INVE-213-13	1 cada 800 m^2	1 cada 800 m^2	NA	Tabla 732.2
Dureza					
Desgaste Los Ángeles	INVE-218-13	1 cada 800 m^2	1 cada 800 m^2	NA	Tabla 732.1
Micro Deval	INVE-238-13	1 cada 800 m^2	1 cada 800 m^2	NA	
Limpieza					
Contenido de impurezas agregado grueso	INV E-237-13	1 cada 800 m^2	1 cada 800 m^2	NA	Tabla 732.1
Geometría de las partículas					
Partículas fracturadas mecánicamente	INV E-227-13	1 cada 800 m^2	1 cada 800 m^2	NA	Tabla 732.1
Partículas Planas y Alargadas	INV E-240-13	1 cada 800 m^2	1 cada 800 m^2	NA	
Adhesividad					
Bandeja	INV E-740-13	1 cada 800 m^2	1 cada 800 m^2	NA	Tabla 732.1

Calidad de los Aditivos

Deben cumplir con lo mencionado en la parte de aditivos de adherencia.

Control de la Composición de la Mezcla

Tanto el Contratista como el Interventor deben realizar verificaciones mínimas periódicas de calidad según lo mencionado en la Tabla 32.

Tabla 32 – *Ensayos mínimos de verificación sobre la mezcla asfáltica. (IDU, 2018)*

Ensayo	Norma de Ensayo	Cantidad y frecuencia de ensayos por obra realizada		Criterio de aceptación	
		Contratista de Obra	Interventor	Promedio muestras	Determinación individual
Composición					
Contenido de asfalto (Nota 1)	INVE-732-13	3 cada 800 m^2	2 cada 800 m^2	± 0.3%	± 0.5%
Granulometría	INVE-782-13	2 cada 800 m^2	1 cada 800 m^2	NA	(Nota 2)

(1) La variación del promedio de los resultados para determinar el contenido asfalto se debe evaluar respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo, y el de cada ensayo individual respecto al valor promedio.
(2) Las curvas obtenidas deben encontrarse dentro de los límites y tolerancias indicados en el numeral 732.6 de la presente Especificación.

Las muestras deben extraerse directamente de la descarga de la máquina, con peso aproximado de dos kilogramos (2 kg) cada una, en cuanto al contenido de asfalto, debe realizarse según los parámetros granulométricos mencionados en tablas anteriores.

Control de la Calidad de la Capa Terminada

Se debe cumplir con las verificaciones mínimas periódicas sobre la capa terminada de acuerdo con la Tabla 33.

Tabla 33 – *Ensayos mínimos de verificación sobre la capa terminada. (IDU, 2018)*

Ensayo	Norma de Ensayo	Cantidad y frecuencia de ensayos por obra realizada		Criterio de aceptación	
		Contratista de Obra	Interventor	Promedio muestras	Determinación individual
Composición					
Dosificación del ligante (Nota 1)	-	5 cada 800 m²	3 cada 800 m²	$(1 \pm 0.10) \cdot TEL$	NA
Dosificación del agregado (Nota 2)	-	5 cada 800 m²	3 cada 800 m²	$(1 \pm 0.10) \cdot TEA$	NA
Textura (Nota 3)	INV E-791-13	4 cada 800 m²	2 cada 800 m²	≥ 1.20 mm	$\geq 1.00 \cdot T_m$
Rugosidad (Nota 4)	INV E-794-13 INV E-814-13	1 cada 100 ml	1 cada 100 ml	NA	Tabla 600.10

NA No aplica.
(1) La tasa media de aplicación del ligante TML se debe evaluar respecto de la tasa autorizada por el Interventor TEL.
(2) La tasa media de aplicación del ligante TMA se debe evaluar respecto de la tasa autorizada por el Interventor TEA.
(3) La variación de cada ensayo para determinar la profundidad de textura T_i se debe evaluar respecto a la profundidad de textura promedio T_m.
(4) Las medidas se deben hacer en cada uno de los carriles del pavimento construido, en tramos consecutivos de cien metros (100 m) por carril.

Medida

La unidad de medida es el metro cuadrado (m²) aproximado al entero de todo trabajo ejecutado y aprobado por el Interventor, para calcular el área, se multiplica la longitud real medida siguiendo el eje de trabajo, por el ancho especificado en planos o lo que dictamine el Interventor.

No hay lugar a medida de pago por separado al riego de curado aplicado sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, queriendo brindar impermeabilidad a la superficie.

Forma de Pago

Se efectúa el pago de acuerdo con el precio unitario establecido en el contrato, por metro cuadrado (m^2) para toda la obra, siguiendo los lineamientos de la especificación, todo debe ser aceptado por el Interventor.

El precio unitario debe incluir suministro en el lugar, almacenamiento, desperdicios y aplicación de material bituminoso, agua, aditivos mejoradores de adherencia, protección de todos los elementos aledaños susceptibles a ser manchados, así como toda labor, mano de obra, equipos o material necesario para la ejecución de los trabajos, de igual forma debe incluir costos de administración, imprevistos y utilidad del Constructor.

Resultados

Luego de haber descrito todos los componentes para la construcción de un Tratamiento Superficial Simple, Tratamiento Superficial Doble y Tratamiento Superficial Triple, se observó principalmente que las especificaciones colombianas no difieren mucho de las de otros países en condiciones de desarrollo similares, como es el caso de Perú, donde se observó que sus Especificaciones Técnicas Generales para Construcción del año 2013, en su mayoría tienen los mismos conceptos y lineamientos.

Contrario a lo mencionado, el Manual de Tratamiento de Superficies y Capas de Sellado del Departamento de Transporte de Texas, difiere en más conceptos, es por eso que no se referencia demasiado, sin decir que son la base para especificaciones en Colombia, la razón tiene que ver principalmente por las diferencias de las condiciones climáticas, en Estados Unidos se debe ser mucho más riguroso con las estaciones, teniendo especial cuidado en invierno, dado que el agua como ya se conoce, es una de las principales causas de deterioro y daño en cualquier estructura de pavimento o tratamiento, más aun cuando se sufre de congelamiento, lo cual ocasiona que se rompa la cohesión entre los materiales.

A continuación, se plantea un guía para la correcta realización y verificación de un Tratamiento Superficial, planteándose tres (3) etapas y sus respectivas características.

Verificación de la Capa Base

- Se debe tener especial cuidado en la superficie donde se va a colocar el Tratamiento Superficial, dado que, como ya se sabe, este tipo de tratamientos no aportan capacidad estructural a la vía, quienes se van a encargar de asumir todas las cargas

son, una estructura de pavimento con un determinado tiempo de servicio, una base o subbase granular, material de préstamo o en algunas ocasiones la misma subrasante con un probable mejoramiento en su capacidad estructural, por lo cual se debe verificar el tipo de tránsito que circula o circulará, y la cantidad de ejes que corresponda, por lo general, son vías de secundarias o terciarias las más usadas para esta aplicaciones.

- Debe comprobarse que esta superficie se encuentre en óptimas condiciones, verificando que no existan baches, imperfecciones o algún tipo de falla o irregularidad, que se verá reflejada muy rápidamente en el tratamiento, problemas con el IRI de la vía, deben ser solucionados con antelación.
- Del mismo modo, no deben existir problemas de drenaje o alguna otra condición que impida el buen desempeño de la capa de tratamiento.
- De ser necesario realizar una impermeabilización previa de la vía, se ejecutará una imprimación, la cual debe tener el tiempo necesario de curado, y en ningún caso comenzar la construcción en un tiempo menor a las veinticuatro (24) horas.

Características de los Materiales

- Los materiales principalmente usados son dos, material pétreo o granular y ligante o emulsión asfáltica, se usa un tercer insumo, solo en caso que el material granular no cumpla con la adherencia necesaria y para corregir esta deficiencia se recurra a algún aditivo mejorador de adherencia para tal fin.

- Se debe hacer una caracterización del material granular, cumpliendo una respectiva granulometría, esto va a depender principalmente de dos factores, primero, la especificación que se use, teniendo en cuenta que los rangos de tamices admitidos pueden cambiar y segundo, el tipo de Tratamiento ya sea Simple, Doble o Triple, lo cual cambia de manera significativa la forma de usar las granulometrías, como se describió anteriormente.
- Igualmente, se requiere que los granulares cumplan con algunas características, un ejemplo de ello esta mencionado en la Tabla 2, allí se describen los valores máximos y mínimos de acuerdo con el nivel de tránsito que ya debió haberse establecido, se especifica de igual manera la norma del ensayo donde se encontrarán los procedimientos y como obtener los resultados.
- Todos los ensayos mencionados son esenciales, pero uno de estos es fundamental para determinar si se requerirá el uso de aditivos mejoradores de adherencia, como lo obtenido por la norma INV E-740 Ensayo de adherencia en bandeja.
- En cuanto al ligante, se recomienda claramente el uso de una emulsión catiónica de rotura rápida, CRR-2 para ser específicos, al igual que el material granular, se deben cumplir con algunos valores mínimos y máximos según las normas establecidas, se pone como ejemplo la Tabla 15 del IDU, en el caso que el diseño, los pliegos del contrato o especificaciones técnicas del proyecto incluyan el uso de polímeros, se debe usar una emulsión catiónica de rotura rápida CRR-2m y cumplir con los ensayos mencionados según las especificaciones técnicas a usar.

- En relación con los mejoradores de adherencia, se recomienda seguir las indicaciones del fabricante, cumpliendo estrictamente su almacenamiento, transporte y distribución, claramente se deben hacer pruebas con los agregados y verificar por medio de ensayos que cumplan con los parámetros establecidos y sea compatible con la emulsión que se esté usando.

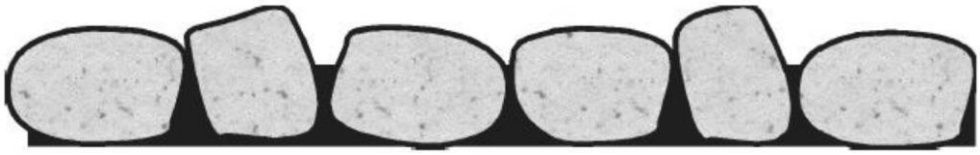
Procedimiento Constructivo

- Tener en condiciones adecuadas la superficie sobre la cual se colocará el Tratamiento Superficial, al igual que realizar una limpieza previa.
- Verificar cantidades y aplicaciones por medio de un tramo de prueba, de esta forma también evaluar el funcionamiento de los equipos y procesos.
- Aplicar imprimación de ser requerida y dejar curar.
- Por medio de un carrotanque irrigador de asfalto, distribuir el ligante en la vía, en un ancho y cantidad establecida previamente en un diseño o establecida según tramo de prueba ya establecido, evitar dobles aplicaciones en los inicios y finales, para ello, ayudarse con un papel grueso de un metro de ancho mínimo.
- Se debe tener especial cuidado de no manchar otras partes de la vía con material bituminoso, una de las formas de evitarlo, es verificando la viscosidad del material, cumpliendo los parámetros establecidos según el lugar y así la especificación.
- Usando un equipo autopropulsado o una volqueta con una tolva especial de distribución de agregado, esparcir el agregado sobre el ligante rápidamente evitando pisar con las llantas del vehículo las superficies que aún no tienen agregado.

- Se debe estar verificando la uniformidad del riego del agregado, para ello, debió ser fundamental una buena gradación del material, es recomendable dejar libre de material un ancho de 10 a 15 centímetros cuando se realiza el trabajo por franjas.
- En el caso que se pueda acceder a un equipo multidistribuidor de asfalto y agregado, se debe tener las mismas precauciones, excepto el de evitar que el equipo pise las superficies que no tengan el riego de agregado, ya que no aplicaría por ser el tratamiento aplicado por completo al mismo tiempo.
- Como recomendación adicional, el Manual de Tratamiento de Superficies y Capas de Sellado del Departamento de Transporte de Texas, nos muestra cual debería ser una gradación correcta para un Tratamiento Superficial.

Figura 6 – *Los agregados gradados dificultan una inserción consistente. (TxDOT, 2017)*

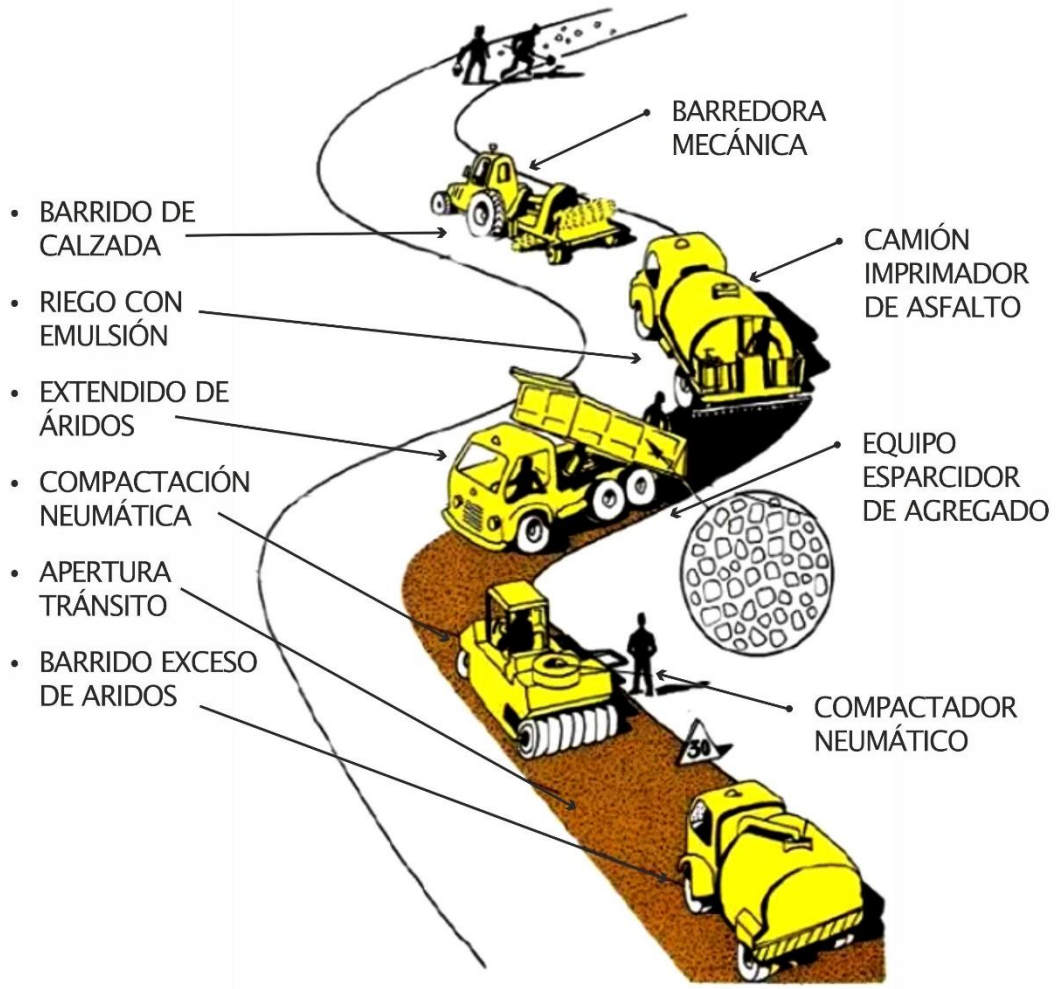
Figura 7 – *La gradación de un solo tamaño produce resultados consistentes. (TxDOT, 2017)*



- Luego de haber esparcido el material granular, por medio de un rodillo de neumáticos, hacer la compactación, debe realizarse antes de cumplirse media hora de haberse extendido el material pétreo, verificando que la superficie nueva quede lisa y estable, usar un equipo de más de cinco toneladas.

- La forma de compactar es la mencionada anteriormente, comenzar por las franjas externas y en los peraltes iniciar por la parte interna, de igual forma tener cuidado de no sobrecompactar el material evitando así agrietarlo, también realizar traslapos de una tercera parte de la capa anteriormente compactada con el nuevo tramo.
- No se recomienda el uso de compactadores de rodillo para estos tratamientos, teniendo en cuenta que el material estaría altamente expuesto a fisuramientos.

Figura 8 – *Esquema ejecución TSS. (Manual de utilización de emulsiones asfálticas en carreteras, 1992)*

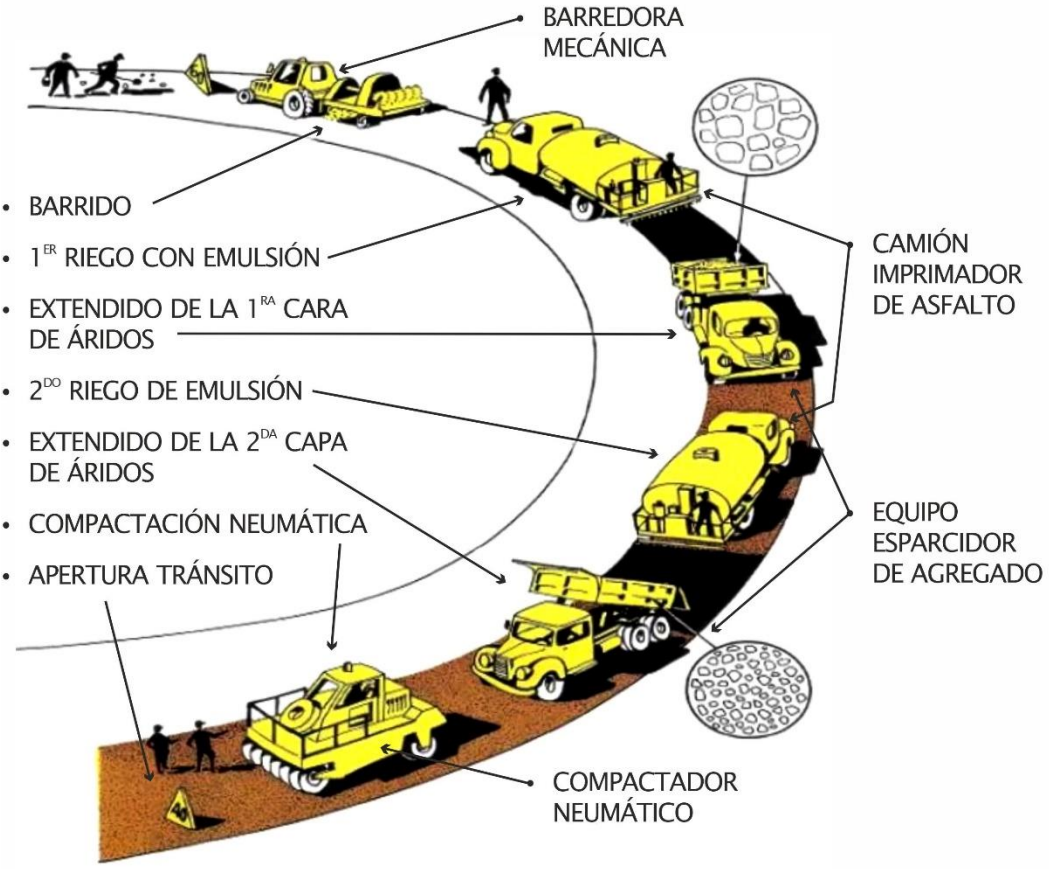


- Habiendo terminado la compactación del material, y esperando un tiempo prudencial donde se verifique que el material quedo completamente ligado, realizar las labores

de limpieza usando una barredora o equipo autorizado por la Interventoría, recogiendo así el material que hubiese quedado suelto, lo anterior con el fin de evitar posibles accidentes a los vehículos que utilizarán la vía, como a los lugares aledaños, se recomienda realizar una última limpieza quince días después de haber entregado la obra.

- En el caso que se quiera realizar un Tratamiento Superficial Doble o Tratamiento Superficial Triple, se realizará el mismo procedimiento mencionado anteriormente, la diferencia radica en dos cosas particularmente, la compactación y el tamaño de las partículas.
- En cuanto a la compactación, algunas especificaciones recomiendan realizar dos pasadas entre cada capa y al final compactar hasta lograr la textura adecuada; por otro lado, suele darse apertura al tránsito antes de iniciar con la siguiente capa, de esa forma el flujo vehicular se encargará de terminar la compactación, además que esta práctica suele hacerse cuando se requiere hacer una apertura temprana a los vehículos que transitan.
- Con relación al tamaño de las partículas, disminuye a medida que se coloca la siguiente capa, siendo el agregado de mayor tamaño en las capas inferiores y disminuyendo en la última capa.
- A continuación, se muestra un esquema del proceso constructivo de una Tratamiento Superficial Doble.

Figura 9 – *Esquema ejecución TSD. (Manual de utilización de emulsiones asfálticas en carreteras, 1992)*



- Para la apertura al tránsito, puede hacerse mínimo después de dos horas de haber terminado la compactación, nunca hacerse antes, pero limitando el tránsito a una velocidad de 30km/h de ser necesario habilitarlo tan rápido, de lo contrario, esperar un espacio de veinticuatro horas para transitar normalmente.
- En cuanto al recibo de los trabajos, se debe garantizar que se obtenga una superficie con una buena adherencia, firme y sin ningún tipo de imperfectos, los cuales deben corregirse para poder ser aceptados por el Interventor.

Conclusiones

- Luego de haber revisado especificaciones de otras entidades como el IDU, de otros países como Perú y del estado de Texas en Estados Unidos, se pudo observar que en general los procedimientos son muy parecidos, eso también se debe a que muchas de las normas latinoamericanas son adaptaciones de las normas estadounidenses, es ahí donde si se observa una diferencia notoria, teniendo en cuenta que en Colombia no se tienen estaciones marcadas, por ende, algunas consideraciones no son necesarias.
- Se realizó una completa descripción de los materiales, equipos y procedimientos para la construcción de un Tratamiento Superficial, donde es fundamental hacer una buena revisión a los materiales, debido a que su calidad está directamente relacionada con el buen comportamiento de la mezcla final puesta en obra, por otro lado, el hecho de realizar un tramo de prueba, donde se verifica el procedimiento y los equipos, podría garantizar el éxito de este tipo de tratamientos y evitar así reparaciones o sobrecostos.
- Habiendo descrito cada uno de los Tratamientos Superficiales, de acuerdo con los procedimientos y especificaciones, la diferencia más significativa radica en las granulometrías, donde para un Tratamiento Simple se usan tamaños nominales de agregados mayores y en lo posible uniformes, mientras que para Tratamientos Dobles o Triples, los tamaños iniciales no son tan grandes, compensando así las otras capas que se colocaran, siendo estas de diámetros de agregado menores, en

cuanto a los equipos y procedimientos es igual, solo que se debe repetir el proceso por cada capa y aunque se realiza compactación leve en cada proceso, al final es donde se debe garantizar un acoplamiento uniforme en toda la longitud.

- Finalmente, luego de haber estudiado estos tratamientos, se puede observar la facilidad de su construcción en cuanto a que no requieren tantos procesos ni ensayos para su elaboración, sin decir que no es importante hacer una adecuada supervisión, de estos dependerá su duración en el transcurso del tiempo y los beneficios en su calidad de vida a las poblaciones que frecuentemente usan las vías secundarias y terciarias.

Referencias

Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2013). *Capítulo 4 – Pavimentos Asfálticos*. https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras.

Sociedad Americana para Pruebas y Materiales [ASTM]. (2003). *Especificación Normalizada de Agregados para Concreto.* https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C33-03-SP.htm.

Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras [NCHRP]. (2016). *Manual de sellos de viruta a base de emulsión para la conservación de pavimentos.* http://www.trb.org/Publications/Blurbs/164090.aspx.

360 en Concreto, ARGOS. (1 de noviembre de 2020). *Tipos de agregados y su influencia en el diseño de mezcla del concreto.* https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto.

MAVEGSA. (3 de abril de 2019). *¿Para qué Sirve la Emulsión Asfáltica?* https://mavegsa.com/para-que-sirve-la-emulsion-asfaltica/.

Albornoz, Y. (2014). *Emulsiones Asfálticas* [Tesis, Universidad de los Andes, Venezuela]. https://pavimentosulacivil.files.wordpress.com/2018/01/emulsiones-asfc3a1lticas.pdf.

Instituto Mexicano del Transporte [IMT]. (2001). *Documento Técnico No. 23, Emulsiones Asfálticas.* https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt23.pdf.

QUIMICERA. (1 de noviembre de 2020). *Productos de asfalto y construcción vial.* https://mavegsa.com/para-que-sirve-la-emulsion-asfaltica/.

AIMIX GROUP. (1 de noviembre de 2020). *Plantas trituradoras de agregados.* https://aimixtrituradora.com/plantas-trituradoras-de-agregados/#:~:text=Por%20lo%20general%2C%20las%20plantas,un%20conjunto%20de%20equipos%20combinados.&text=Las%20plantas%20de%20trituraci%C3%B3n%20son,construcci%C3%B3n%20e%20ingenier%C3%ADa%20de%20minas.

ROMANELLI. (1 de octubre de 2020). *Multi distribuidor de agregado.* https://www.romanelli.com.br/es/equipamentos/multi-distribuidor-de-agregado-.

Instituto de Desarrollo Urbano [IDU]. (2018). *Tratamientos Superficiales Simple, Doble y Triple.* (Especificación 732-18). https://www.idu.gov.co/Archivos_Portal/Transparencia/Informacion%20de%20interes/SIPVIALES/Innovaci%C3%B3n/Portafolio/2020/ET-IC-01-Especificaciones-tecnicas-generales/732-18%20TRATAMIENTOS%20SUPERFICIALES%20SIMPLE,%20DOBLE%20Y%20TRIPLE_2.pdf.

AMBIETUM. (9 de noviembre de 2020). *Tipos de barredoras.* https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/tipos_de_barredoras.asp.

Texas Department of Transportation [TxDOT]. (2017). *Seal Coat and Surface Treatment Manual*. http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/scm/scm.pdf.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT]. (2014). *Guía de Procedimientos y Técnicas para la Conservación de Carreteras en México*. http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Guias/guia-carreteras.pdf.

Manual Técnico de Carreteras [MTC]. (2013). *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción* [EG]. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013).pdf.