



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Aplicación de riego de liga

Guía para Inspectores

PITRA

Programa de
**Infraestructura
del Transporte**

Guerrero-Aguilera, Sergio¹; Herra-Gómez, Luis Diego²;
Loría-Salazar, Luis Guillermo³; Salas-Chaves, Mauricio⁴;
Sequeira-Rojas, Wendy⁵ y Zúñiga-López, Andrea⁶.

1 Ingeniero Auditor, Unidad de Auditoría Técnica PITRA LanammeUCR

2 Ingeniero Auditor, Unidad de Auditoría Técnica PITRA LanammeUCR

3 Coordinador General Programa de Infraestructura del Transporte
(PITRA) LanammeUCR

4 Ingeniero Auditor, Unidad de Auditoría Técnica PITRA LanammeUCR

5 Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica PITRA LanammeUCR

6 Asistente, Unidad de Auditoría Técnica PITRA LanammeUCR

Palabras Clave: emulsión asfáltica, riego de liga, prácticas constructivas.

Resumen

La presente publicación es el resultado de una investigación de literatura tanto nacional como internacional relacionada con la actividad de riego de liga. Tiene como objetivo proporcionar una herramienta a los inspectores de campo para ejecutar las labores de aplicación de la emulsión asfáltica. Este documento describe los atributos necesarios en un inspector, conceptos importantes, personal necesario, equipo, maquinaria y materiales requeridos para la actividad. Asimismo, se ilustra y describe en un lenguaje sencillo el procedimiento detallado para la realización de un trabajo eficiente. Se enmarcan recomendaciones especiales para el inspector y se presenta una lista de chequeo. Finalmente, se presentan ejemplos de prácticas adecuadas e inadecuadas. Esta guía representa un esfuerzo por parte de la Unidad de Auditoría Técnica del Programa de Infraestructura del Transporte del LanammeUCR que busca eliminar la reincidencia de procedimientos inadecuados durante la labor de riego de liga, de manera que se garanticen obras de mayor durabilidad y una adecuada inversión de los recursos.

Contenido

Resumen	1
Introducción	3
Atributos necesarios de un inspector	3
1. Conceptos	4
2. Personal requerido para aplicación del riego de liga	7
3. Equipo y maquinaria	7
4. Materiales requeridos	12
5. Proceso constructivo	14
5.1. Calibración de equipo	14
5.1.1. Presión del camión dosificador en la aplicación del riego de liga	14
5.1.2. Temperatura de aplicación del riego de liga	15
5.1.3. Altura de la barra de dosificación	16
5.1.4. Boquillas	18
5.2. Tramo de prueba	21
5.3. Preparación y superficie	22
5.3.1. Limpieza	22
5.3.2 Cuidados en juntas y protección del entorno	24
5.4. Tasa de dosificación a utilizar	25
5.5 Aplicación	27
5.5.1 Riego uniforme	27
5.6 Cálculo de la tasa de emulsión aplicada	28
5.6 Rompimiento y curado	32
5.6.1 Tiempo de rompimiento y curado	32
5.6.2 Arrastre de liga	34
6. Lista de chequeo	35
7. Ejemplos ilustrativos de prácticas adecuadas e inadecuadas en la aplicación del riego de liga	42
7.1 Prácticas adecuadas	42
7.2 Prácticas deficientes	48
Referencias	60

Introducción

El contenido de la siguiente guía tiene como objetivo proporcionar una herramienta a los inspectores de campo para ejecutar las labores de supervisión de la actividad de aplicación del riego de liga.

Esta guía representa un esfuerzo por parte de la Unidad de Auditoría Técnica del Programa de Infraestructura del Transporte del LanammeUCR, que busca con este documento eliminar la reincidencia de procedimientos inadecuados durante la actividad de riego de liga, de manera tal que se garanticen obras de mayor durabilidad.

Atributos necesarios de un inspector

- Los atributos personales necesarios en un inspector comienzan por la honestidad. El inspector debe ser honesto y debe comportarse de una manera justa y recta, por lo que debe realizar su trabajo con ética.
- En momentos de presión debe mantener su compostura y tomar buenas decisiones. Debe tener sentido común para ejecutar decisiones competentes.
- Debe ser sincero en sus relaciones con las personas, poseer habilidades diplomáticas, ser cortés y capaz de manejar situaciones difíciles sin generar hostilidad. Por encima de todo, debe ser muy observador y ser capaz de llevar registros completos con la información relevante diaria. El inspector deberá trabajar en conjunto con el ingeniero para determinar las intervenciones y prácticas constructivas más adecuadas de acuerdo con la obra a realizar.

1. Conceptos

Asfalto: es un producto que se obtiene de la destilación del petróleo, es el último residuo que queda, después de extraer del crudo: aceites, diésel, bunker, gasolina, entre otros y sirve para aglutinar (pegar) fuertemente las partículas de agregado en la mezcla asfáltica.

Asfalto residual: cantidad de asfalto remanente en la superficie después que la emulsión ha roto y curado, el cual típicamente oscila entre un 45% a un 75% del volumen de la emulsión (Ulloa, 2012).

Emulsión asfáltica: material bituminoso líquido, que se define como una dispersión de asfalto y agua que contiene una pequeña cantidad de agente emulsionante que a la vez proporciona la unión necesaria para conservar la estabilidad del sistema hasta su uso (MOPT, 2010). Uno de los usos de la emulsión asfáltica es el riego liga. La emulsión asfáltica puede ser diluida o no.

Emulsión asfáltica diluida: emulsión original que ha sido diluida añadiendo una cantidad de agua igual o menor que el volumen total de emulsión original (Elizondo et al, 2017).

Emulsión asfáltica no diluida: corresponde a la emulsión original sin ningún tipo de modificación posterior al proceso de producción.

Exudación: es la presencia o ascenso de asfalto en la superficie de la calzada dándole un aspecto negro, liso y brillante. Se producen por defectos de construcción, por riego de adherencia excesivo; o por defectos de formulación de la mezcla asfáltica. Este tipo de deterioro genera un riesgo en la seguridad vial del pavimento debido a la reducción del coeficiente de fricción superficial.

Riego de imprimación: Es un riego de emulsión asfáltica colocado sobre una superficie de base granular o estabilizada con el fin de brindarle protección luego de construida.

Riego de liga: Aplicación de una capa delgada de emulsión asfáltica por medio de riego a presión sobre una superficie ya sea bituminosa o losa de concreto, previo a la colocación de una capa asfáltica. El riego de liga proporciona una adecuada adherencia entre las capas del pavimento, la cual es crítica para transferir los esfuerzos inducidos por las cargas de tránsito a la estructura de pavimento.

Sobrecapa de mezcla asfáltica: consiste en la colocación de una capa de mezcla asfáltica en caliente, sobre una capa de rodamiento existente para mejorar las condiciones superficiales del pavimento. Pueden sustituir total o parcialmente el espesor de una capa existente.

Tasa de dosificación: corresponde a la tasa de riego de emulsión asfáltica por área, generalmente se reporta en litros sobre metros cuadrados (l/m^2).

Tiempo de rompimiento: tiempo necesario para que las partículas de agua se separen de la emulsión. En esta etapa ocurre un cambio de coloración en la emulsión de café a negro, aunque todavía hay presencia de agua en la emulsión asfáltica.

Tiempo de curado o rompimiento total: tiempo necesario para que el agua introducida en el proceso de producción de la emulsión se evapore completamente. Esta etapa involucra el desarrollo óptimo de las propiedades mecánicas de la emulsión asfáltica por lo que hay mayor habilidad de adherencia entre capas (Asphalt Institute, 2008).

Tipos de emulsión según tiempo de rompimiento: las emulsiones asfálticas se pueden clasificar según la tasa relativa en la cual las dos fases se separan al hacer contacto con agregado o suelo. Se establecen cuatro tipos de emulsiones asfálticas según el tiempo que tardan en romper.

- Rompimiento rápido (RS)
- Rompimiento medio (MS)
- Rompimiento lento (SS)
- Rompimiento controlado (QS)



Figura 1. Rompimiento de emulsión asfáltica
Fuente: LanammeUCR, 2018

Tipos de emulsión según polaridad: Las emulsiones asfálticas son comúnmente categorizadas según la carga eléctrica que rodea la partícula de asfalto, por lo que según la polaridad de la carga se pueden clasificar como catiónicas o aniónicas. (Ulloa, 2012).

- **Catiónicas:** son aquellas cuyo agente emulsificante confiere polaridad electropositiva alrededor de las partículas de asfalto.
- **Aniónicas:** son aquellas cuyo agente emulsificante proporciona polaridad electronegativa alrededor de las partículas del asfalto.

Una recomendación técnica indica que no se deben mezclar las emulsiones aniónicas con las catiónicas. (Asphalt Institute, 2015).

2. Personal requerido para aplicación del riego de liga

- Inspector
- Encargado de cuadrilla
- Operadores de maquinaria
- Peones

3. Equipo y maquinaria

Barredora mecánica: se utilizan para eliminar el polvo y escombro de la superficie expuesta antes de aplicar el riego de liga, sobre la que se colocará la sobrecapa.



Figura 2. Barredora mecánica
Fuente: LanammeUCR, 2018

Cepillo, escoba, esponjas o toallas: se utilizan para limpiar y barrer las superficies difíciles de alcanzar con la barredora mecánica, de manera que queden libres de polvo o agentes contaminantes. También son utilizados en el caso de derrames o excesos de emulsión asfáltica sobre la superficie a intervenir.



Figura 3. Cepillo (escobón)

Distribuidor de emulsión asfáltica: Un distribuidor de asfalto es el equipo que usualmente se emplea para la aplicación del riego de liga. El camión distribuidor se compone de varias piezas principales entre las que se pueden mencionar el tanque de emulsión asfáltica, el sistema de calentamiento líquido, el sistema de bombeo, la barra dosificadora con el sistema de boquillas de aspersión, el dispositivo de aspersión manual y el panel de control. El adecuado funcionamiento y condición del camión dosificador es para obtener riegos homogéneos.

En la siguiente figura se muestran los sistemas y piezas que conforman el camión dosificador.

Localización e identificación de componentes Componentes laterales y posteriores

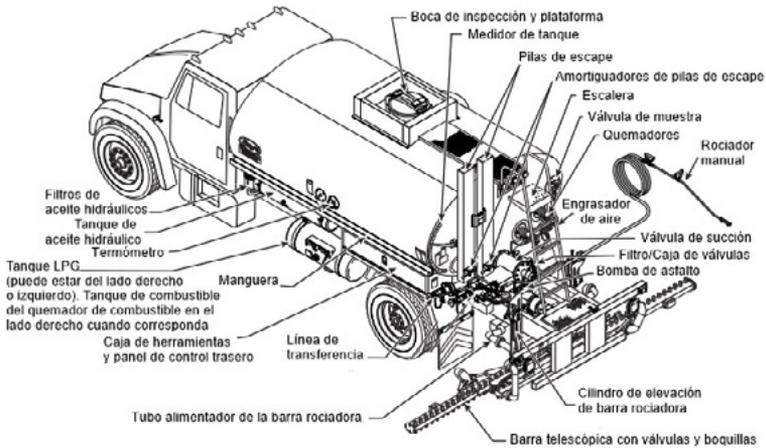


Figura 4. Elementos de un camión distribuidor de asfalto
Fuente: National Cooperative Highway Research Program, 2012

Sistema de calentamiento: Los distribuidores están equipados con quemadores, que se utilizan para mantener la emulsión asfáltica en la temperatura adecuada para asegurar la viscosidad correcta para su aplicación (ver cuadro 2).



Figura 5. Termómetro del sistema de calentamiento

Sistema de bombeo: Los camiones distribuidores tienen dos sistemas de bombeo para asegurar la presión de rocío de la emulsión asfáltica a diferentes tasas y temperaturas de aplicación. El primer sistema contempla la presión automatizada del equipo, es decir, una presión variable de acuerdo con la velocidad de aplicación. El segundo mecanismo corresponde a una magnitud de presión constante a la cual debe ajustarse la velocidad de operación del camión dosificador.

Barra dosificadora: Se encuentra en la parte posterior del distribuidor, detrás de las ruedas traseras del camión. La emulsión asfáltica se aplica a la superficie del pavimento mediante boquillas aspersores en la barra dosificadora. La mayoría de camiones cuentan con extensiones de la barra dosificadora para aumentar el ancho de aplicación del riego de liga, estas extensiones son opcionales y simplemente son levantadas cuando el ancho de aplicación no lo requiere.

Se recomienda que la barra dosificadora de aplicación tenga un ancho mínimo de 4,5 m. (MOPT, 2010).



Figura 6. Barra dosificadora
Fuente: LanammeUCR, 2018

Boquillas: Aberturas posicionadas en la barra dosificadora del camión distribuidor a través de las cuales la emulsión asfáltica es expulsada sobre la superficie de la carretera, usualmente distanciadas 10 cm entre sí.



Figura 7. Boquilla de barra rociadora
Fuente: LanammeUCR, 2018

Panel de control o sistema informático: El camión dosificador cuenta con un tablero de control para la activación de los sistemas que componen el equipo distribuidor, así como para la regulación de la tasa de dosificación, presión de aplicación, altura, posición de la barra y cantidad de boquillas a utilizar.



Figura 8. Tablero de control a bordo del camión dosificador
Fuente: LanammeUCR, 2018

Tanquetas o distribuidores manuales: Se pueden utilizar aspersores manuales para la aplicación del riego de liga siempre

y cuando se logre una distribución adecuada sobre la superficie y se cumpla con las demás especificaciones definidas para esta actividad.



Figura 9. Distribuidor manual de emulsión asfáltica
Fuente: LanammeUCR, 2018

4. Materiales requeridos

- Papel para construcción de juntas y protección de exteriores
- Emulsión asfáltica

En Costa Rica la emulsión asfáltica usualmente utilizada para la aplicación del riego de liga es la CRS-1 (catiónica de rompimiento rápido de baja viscosidad).



Figura 10. Muestra de emulsión asfáltica
Fuente: LanammeUCR, 2013

A nivel internacional existen diferentes tipos de emulsión para la aplicación de riego de liga, como se puede observar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Emulsiones asfálticas utilizadas en la aplicación del riego de liga

Emulsiones asfáltica en riego de liga			
Aniónicas	RS-1	Catiónicas	CRS-1
	RS-2		CRS-2
	MS-1		CSS-1
	HFMS-1		CSS-1h
	HFMS-2h		CQS-1h
	SS-1		CRS-2P
	SS-1h		CRS-2L

Fuente: National Cooperative Highway Research Program, 2018

5. Proceso constructivo

Si bien la secuencia constructiva de la actividad de aplicación del riego de liga no es compleja, el inspector debe velar por el cumplimiento y corroboración de diversos aspectos durante su labor, con el fin de alcanzar una correcta aplicación del material asfáltico y así asegurar la adherencia de la capa asfáltica que se desea ligar a la estructura de pavimento existente.

Se detallan a continuación los principales aspectos que el inspector debe verificar durante la aplicación del riego de liga.

5.1. Calibración de equipo

5.1.1. Presión del camión dosificador en la aplicación del riego de liga

El distribuidor de emulsión asfáltica deberá tener la capacidad de desarrollar la presión para que el material asfáltico salga expulsado a presión constante y uniforme por cada una de las boquillas de la barra rociadora en forma de abanico hacia la superficie.

La presión aplicada en la barra dosificadora para la expulsión de la emulsión asfáltica está directamente ligada al tamaño y orientación de boquillas por lo que son un parámetro a considerar.

Una presión demasiado baja dará como resultado un riego discontinuo por la descarga desigual del material en las boquillas individuales. Mientras que una presión demasiado alta deformará el abanico de riego, generando patrones de riegos no uniformes. En la sección 7 de esta guía se pueden encontrar ejemplos de riegos discontinuos y no uniformes.

El inspector puede verificar la presión de la aplicación de la emulsión asfáltica, en el panel de control del equipo. En caso de detectar riegos de liga no uniformes por problemas de presión del equipo, podrá sugerir la regulación de la presión aplicada o de la velocidad de aplicación

5.1.2. Temperatura de aplicación del riego de liga

Los camiones dosificadores de emulsión asfáltica deben tener la capacidad de mantener la temperatura de la emulsión para asegurar una adecuada viscosidad y flujo del material a través de las boquillas de la barra rociadora.

El inspector debe conocer el rango de temperatura a la cual se debe trabajar la emulsión asfáltica ya que un exceso de calentamiento sobre el material bituminoso podría causar el rompimiento de la emulsión estando aún dentro del tanque del camión dosificador causando obstrucciones o comprometiendo la adherencia del material.

La temperatura de almacenamiento y aplicación del material dependerá del tipo de emulsión que esté aplicando.

Cuadro 2 . Emulsiones asfálticas utilizadas en la aplicación del riego de liga

Tipo y grado de emulsión	Temperatura de aplicación °C	Temperatura de almacenamiento °C
RS-,SS-1, SS-1h, CRS-1, CSS-1,CSS-1h	20 -70	20-60
RS-2, CRS-2	60-85	50-85
Emulsiones con polímeros	60-80	50-55

Fuente: National Asphalt Pavement Association, 2013

Usualmente en Costa Rica la emulsión CRS-1 es aplicada en rangos entre 50°C y 70°C.

El inspector deberá verificar la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica, en el termómetro del equipo, así como la temperatura de los quemadores con el fin de asegurar la adecuada circulación del material para su expulsión.

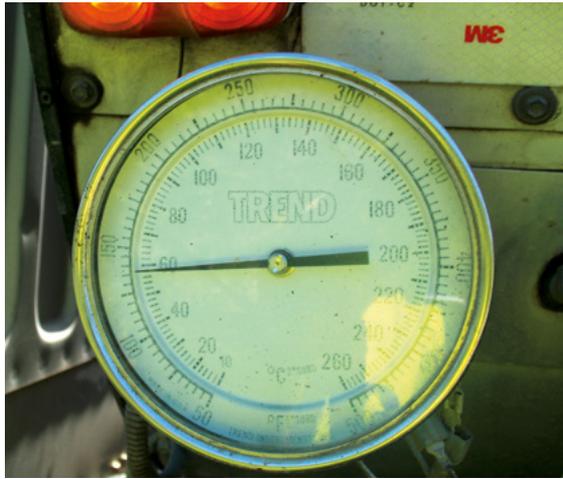


Figura 11. Termómetro para verificar temperatura de almacenamiento y aplicación de la emulsión
Fuente: LanammeUCR, 2018

5.1.3. Altura de la barra de dosificación

La elevación de la barra rociadora debe ajustarse a la altura suficiente para permitir el adecuado rocío del material bituminoso. Un rocío adecuado provee el traslape del ligante asfáltico necesario para alcanzar una aplicación uniforme y una cobertura suficiente de la superficie.

La altura de la barra dependerá de la velocidad de operación del camión, configuración de boquillas y la presión del riego.

Se recomienda ajustar la barra dosificadora a un patrón de rocío con cubrimiento doble o triple para alcanzar una aplicación del riego de liga uniforme con un porcentaje de cobertura total de la superficie. El cubrimiento doble considera que la base del abanico que se forma al salir el material de la boquilla cubra hasta la mitad de la base del abanico de la boquilla contigua. Por otro lado, el cubrimiento triple considera que la base del abanico de una boquilla cubrirá dos terceras partes de la base del abanico de la boquilla continua. En la Figura 12 se muestran los tipos de cobertura según la altura de la barra (Instituto del Asfalto, 2014).

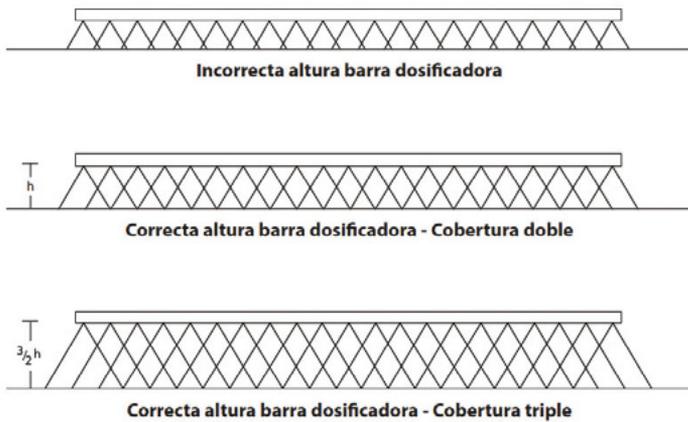


Figura 12. Diagrama de altura de barra rociadora para cobertura deseada
Fuente: Instituto del Asfalto, 2014

El inspector debe identificar que, si la barra rociadora está demasiado baja, el riego de liga resultará en forma de líneas o rayas, o si la barra está excesivamente alta resultará en una cobertura transversal no uniforme.

También debe considerarse que conforme el volumen de emulsión contenido en el tanque distribuidor disminuye durante la aplicación del riego, la altura de la barra rociadora debe regularse hasta ajustar el tipo de riego seleccionado. Otro aspecto a considerar en relación con la altura de la barra es el factor viento, el cual podría incidir en el patrón de rocío del riego.

Como parámetro de referencia, la barra dosificadora usualmente se coloca a 30 cm de la superficie, sin embargo, la altura de la barra deberá ajustarse según las necesidades y factores que influyen en la posición de la barra dosificadora.

El inspector deberá verificar la altura de la barra dosificadora antes de dar inicio al riego de liga. Así como sugerir la modificación de la altura de la barra en casos donde no se observe el traslape del abanico con el fin de asegurar una adecuada cobertura del material. Esto se puede verificar por medio de riegos de prueba.



Figura 13. Medición de la altura de la barra rociadora con cinta métrica
Fuente: LanammeUCR, 2018

5.1.4. Boquillas

Los tamaños de boquillas y ángulos de posicionamiento se deben seleccionar para las condiciones de la obra y tasa de dosificación aplicada. Las boquillas que se usen deben estar limpias y en buen estado.

a. Ángulo

El ángulo de las boquillas con respecto al eje longitudinal de la barra dosificadora propicia la orientación de la salida del abanico de emulsión asfáltica hacia la superficie.

Para asegurar una cobertura uniforme del material sobre la totalidad de la superficie a intervenir, todas las boquillas de la barra rociadora deben mostrar el mismo patrón de rocío por lo que deberán ser del mismo tamaño, estar abiertas, libres de obstrucciones y alineadas a un mismo ángulo en el momento de la aplicación.

El ángulo de las boquillas se recomienda sea entre 15° y 30° , y es medido con respecto al eje longitudinal de la barra.

Si el ángulo de las boquillas no está alineado durante la aplicación

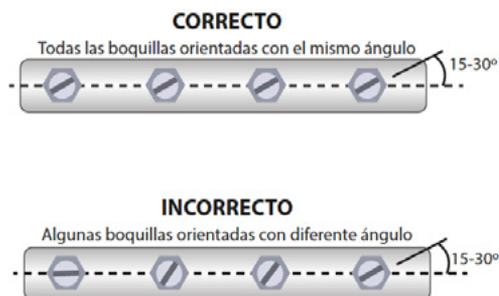


Figura 14. Alineamiento y ángulo de boquillas
Fuente: NCHRP, 2012

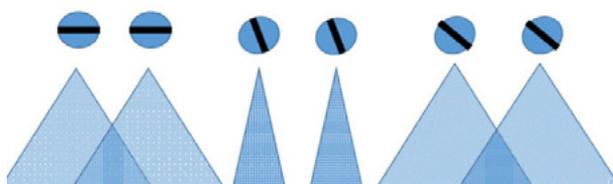


Figura 15. Efecto orientación de boquillas en riego de liga.
Fuente: Asphalt Institute, 2014.

del riego de liga, el patrón de rocío de uno de los nodos puede interferir con el patrón de rocío de los nodos adyacentes, por lo que algunas de las áreas de la superficie recibirán un exceso de emulsión asfáltica mientras la sección continua del abanico tendrá insuficiente cobertura.

El inspector deberá verificar la orientación de las boquillas de manera que estas tengan la misma configuración respecto al eje longitudinal de la barra dosificadora con el fin de garantizar el mismo patrón de rocío de la emulsión asfáltica.

b. Tamaño

El tamaño de las boquillas para la aplicación del riego de liga varía significativamente en función de la tasa de emulsión que se desea aplicar.

Cada fabricante de distribuidores tiene recomendaciones específicas para el tamaño de las boquillas de la barra que deben utilizarse en las diferentes aplicaciones. La utilización de boquillas mayores en relación a una presión de bombeo del material resultará en una distribución no uniforme de la emulsión en la superficie de colocación.



Figura 16. Variación en tamaño de boquilla de acuerdo al fabricante
Fuente: LanammeUCR, 2018

El inspector debe verificar que el tamaño del diámetro de boquilla a utilizar sea el adecuado para la tasa de riego según las especificaciones del manual del camión, esto para garantizar una adecuada presión en la expulsión del material. Además, se debe verificar que todas las boquillas sean del mismo tamaño.

c. Mantenimiento

Cuando las emulsiones son expulsadas de las boquillas a temperaturas superiores a la del ambiente, el residuo de asfalto suele obstruir las boquillas del distribuidor a medida que este se enfría; es por esto que el mantenimiento diario del equipo se vuelve importante para evitar que la emulsión se atasque en las boquillas de la barra rociadora y afecte de manera parcial o total la salida a presión de la emulsión y en consecuencia la aplicación del riego de liga resulte no uniforme.

Para evitar el bloqueo de las boquillas es importante que el operador al final de cada día de operación limpie: el sistema de circulación, barra de riego, válvulas y boquillas empleando un agente limpiador compatible con el material utilizado.

El inspector debe revisar cada mañana el estado de las boquillas para identificar posibles obstrucciones. En caso de detectar boquillas bloqueadas en el proceso de aplicación, se deberá sugerir la limpieza o sustitución de las mismas para continuar con el proceso de aplicación del riego de liga.

5.2. Tramo de prueba

Es recomendable antes de dar inicio a la actividad del riego de liga, realizar una prueba de riego con el camión dosificador, con el fin de verificar que la altura de la barra rociadora, los ángulos de las boquillas, presión, velocidad de aplicación y condiciones climáticas sean las adecuadas para que el material asfáltico sea aplicado de manera uniforme.

En la realización del paño de prueba, el inspector en caso de observar un riego de liga no uniforme o excesivo, debe solicitar la calibración del equipo previo a la colocación del material asfáltico.

Es importante que el inspector conozca que existen pruebas para la comprobación de la tasa de dosificación que pueden ser realizadas tanto en el tramo de prueba como en el proceso de aplicación del riego de liga.

La norma ASTM D2995 (American Society for Testing Materials, 2009) registra dos métodos para corroborar la cobertura del riego de emulsión asfáltica. Ambos métodos implican la fijación de parches de geotextil en la superficie donde se aplicará la emulsión asfáltica. Los parches del geotextil se pesan antes y después de la aplicación del riego de liga para determinar la tasa de aplicación en l/m².

El método A estima la tasa de aplicación transversal, longitudinal y la variabilidad de la aplicación de la emulsión asfáltica en la superficie del pavimento. Mientras que el método B estima la tasa de aplicación transversal y longitudinal y la variabilidad en términos del asfalto residual.

El inspector podrá solicitar al laboratorio encargado de control o verificación de calidad el resultado in situ de la tasa de aplicación obtenida en el ensayo según el método aplicado, para corroborarla con la tasa de dosificación seleccionada por el contratista o ingeniería de proyecto.



Figura 17. Ensayos para verificar uniformidad de riego y determinar la cantidad de emulsión aplicada
Fuente: LanammeUCR, 2018

5.3. Preparación y superficie

5.3.1. Limpieza

Las buenas prácticas de ingeniería consideran la aplicación del riego de liga sobre una superficie seca y limpia, con el fin de optimizar la adherencia entre capas, y así disminuir el riesgo de fallas por deslizamiento o delaminación entre capas de mezcla asfáltica.

El área de aplicación antes de realizar el riego de liga debe estar libre de cualquier sustancia o residuo que pueda inhibir la adherencia de la emulsión. La aplicación de la emulsión asfáltica sobre una superficie con polvo o sucia podría generar que el material del

riego de liga se adhiera al polvo y no a la superficie sobre la que se coloca el riego de manera que la misma se vuelve a susceptible a deterioros prematuros.

Por otro lado, la emulsión asfáltica al adherirse al polvo es más susceptible a que se puedan presentar pérdidas de cobertura en la superficie por el arrastre de emulsión asfáltica en los neumáticos de las vagonetas, debido a la manipulación de vehículos en el área de trabajo, (National Cooperative Highway Research Program, 2018).

La humedad de la superficie es un factor que también puede comprometer la adecuada adherencia entre las capas, por lo que previo a la aplicación debe prestarse especial atención a cúmulos de agua o humedad sobre la superficie, los cuales deberán ser eliminados previo a la aplicación del riego de liga. (NCHRP, 2012).



Figura 18. Limpieza de la superficie a intervenir con barredora mecánica
Fuente: LanammeUCR, 2016

El inspector previo a la aplicación del riego de liga deberá inspeccionar que la superficie se encuentre limpia, libre de polvo, humedad o cualquier sustancia que pueda inhibir la adherencia del riego, especialmente en lugares propensos a la acumulación de polvo y humedad como lo son: esquinas, juntas y secciones donde se haya realizado perfilado.

5.3.2 Cuidados en juntas y protección del entorno

Se debe tener especial cuidado con la concentración o derrame excesivo de emulsión en secciones como juntas o bordes donde se colocarán capas asfálticas y traslapes entre un riego de liga y el próximo, ya que se podrían generar problemas de exudación de la capa asfáltica.

En las juntas transversales, es recomendable antes de iniciar un nuevo riego, colocar tiras de papel u otro material similar para proteger el riego existente, de manera que se genere una distancia suficiente para que cuando la barra de riego comience a dosificar la emulsión asfáltica, a la potencia exigida, el nuevo riego inicie con el patrón de rocío adecuado al término del papel de construcción colocado y la emulsión asfáltica previa sea retirada al levantarse el papel, evitando el traslape o exceso del material asfáltico.

Otro aspecto por el que el inspector de obra debe velar es que, previamente al riego de liga, las estructuras de la carretera o contiguas, que pudieran mancharse directa o indirectamente durante la aplicación del material asfáltico, tales como banquetas, postes, barreras separadoras, entre otros, se protegerán con papel u otro material similar, de manera que concluido el trabajo y una vez retirada la protección, se encuentren en las mismas condiciones de limpieza en que se hallaban. (NCTRCAR, 2000)



Figura 19. Colocación de papel en juntas
Fuente: pavementinteractive.org

El inspector debe velar por que no se generen excesos de emulsión asfáltica en juntas transversales, bordes y en el traslape de riegos de emulsión asfáltica. En el caso de exceso o pozos de emulsión, se deberá exigir el barrido del área, eliminando los excesos generados.

5.4. Tasa de dosificación a utilizar

Si bien la selección del tipo de emulsión y la tasa de dosificación del riego de liga no es una responsabilidad total del inspector, el mismo deberá conocer el rango de aplicación que se debe colocar, así como verificar que la tasa que se está aplicando corresponde a la señalada por el contratista o la ingeniería de proyecto.

Por lo anterior, es necesario que el inspector conozca algunos conceptos básicos sobre la tasa de dosificación del riego de liga:

- La tasa de dosificación del riego de liga puede ser especificada en función del asfalto residual, emulsión asfáltica no diluida o diluida.

- El rango de aplicación de la tasa de dosificación será definido por el tipo de superficie sobre la cual se aplique el riego de liga. Así, por ejemplo, superficies más porosas tal como una superficie perfilada, demandará una mayor cantidad de emulsión asfáltica en comparación con una capa asfáltica nueva.
- Otra de las consideraciones a tomar en cuenta en la definición de la tasa de dosificación del riego de liga es el tipo de mezcla asfáltica, debido a que las mezclas de graduación abiertas requieren tasas más altas que las mezclas densas.

A nivel nacional, el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010 (Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 2010), especifica tasas de dosificación para la actividad del riego de liga entre 0,15 litros por metro cuadrado a 0,70 litros por metro cuadrado.

En el Cuadro 3 se muestran recomendaciones generales de tasas de dosificación por distintas Agencias de Transporte de Estados Unidos, para la aplicación del riego de liga según el tipo de superficie. Los rangos mostrados en la tabla corresponden a valores de referencia para que el inspector identifique diferentes tasas de aplicación según el tipo de superficie.

Cuadro 3. Tasas de dosificación emulsiones asfálticas según tipo de superficie

Tipo de pavimento existente	FHWA Tech Brief		NCHRP Report 712		NAPA QIP 128	
	Asfalto residual	Diluida 1:1 con agua	Asfalto residual	Diluida 1:1 con agua	Asfalto residual	Diluida 1:1 con agua
	litros / m ²					
Capa nueva mezcla asfáltica	0,09 -0,23	0,27-0,63	0,16	0,54	0,14 -0,18	0,41-0,54
Capa de mezcla asfáltica oxidada	0,18-0,32	0,54-1,0	0,25	0,81	0,18-0,27	0,54-0,81
Capa de mezcla asfáltica perfilada	0,18-0,36	0,54-1,09	0,25	0,81	0,14-0,23	0,41-0,68
Pavimento rígido	0,14-0,23	0,45-0,72	0,20	0,68	0,18-0,27	0,54-0,81

Fuente: National Cooperative Highway Research Program, 2018

El inspector deberá solicitar al contratista o a la ingeniería de proyecto la tasa de dosificación a aplicar en l/m², así como conocer si la dosificación corresponde a asfalto residual, emulsión asfáltica no diluida o diluida.

5.5 Aplicación

5.5.1 Riego uniforme

La cobertura y la uniformidad de aplicación del riego de liga constituyen el factor preponderante para garantizar una adecuada adherencia.

Una adecuada aplicación de riego de liga es aquella que exhibe una cobertura y dosificación uniforme a lo largo de toda la capa que se desea intervenir tanto en el plano horizontal como en juntas y cortes verticales.

Como se mencionó anteriormente, existen diversos factores relacionados con el funcionamiento, calibración y mantenimiento del equipo que pueden generar aplicaciones de riegos de liga no uniformes en el área de intervención.

La no uniformidad de un riego de liga contribuye a la pérdida de resistencia por adherencia entre la capa existente y la nueva capa colocada.



El inspector debe verificar que el riego de liga se distribuya uniformemente sobre toda el área a intervenir y en caso contrario debe procurar que se cubran las zonas con ausencia del material.

Figura 20. Riego de liga uniforme con cobertura total
Fuente: LanammeUCR, 2016

5.6 Cálculo de la tasa de emulsión aplicada

Como se mencionó anteriormente, el inspector puede conocer la tasa de dosificación utilizada de forma puntual mediante los ensayos anteriormente mencionados. Sin embargo, los resultados de los ensayos no dependen directamente del inspector. Es por eso que existen otros métodos para controlar la tasa aplicada, así como la cantidad de emulsión asfáltica aplicada al final de la jornada de trabajo. Los dos procedimientos principales para determinar la tasa de aplicación de emulsión asfáltica en campo, se explican a continuación.

1. Por volumen:

El inspector podrá determinar la tasa de dosificación aplicada en función del consumo del volumen de emulsión asfáltica en el tanque distribuidor.

La mayoría de camiones distribuidores de emulsión cuentan con un medidor volumétrico que se encuentra en la parte posterior del camión distribuidor, el mismo está conectado a una barra graduada y precalibrada que mide el volumen de emulsión en el tanque del camión, tal como se muestra en la figura a continuación.

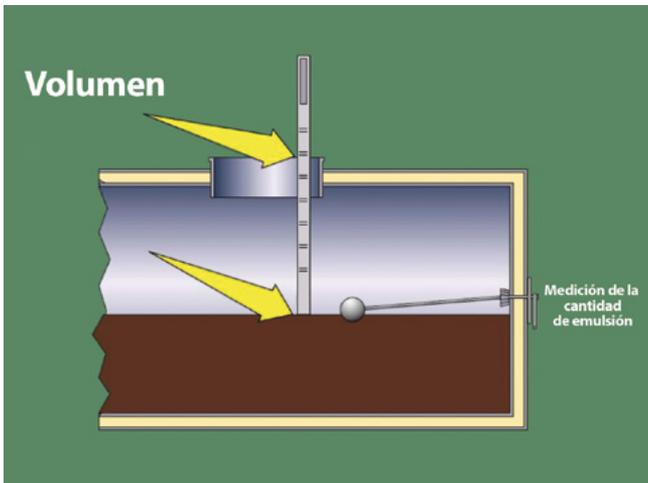


Figura 21. Diagrama del funcionamiento de la barra graduada y precalibrada
Fuente: Asphalt Institute, 2015



Figura 22. Medidor volumétrico del tanque distribuidor
Fuente: LanammeUCR, 2018

Las mediciones de volumen se deben hacer antes y después del riego, la diferencia del volumen inicial y final será la cantidad de emulsión aplicada. Antes de realizar la medición de cantidad de material aplicado por diferencia volumétrica, se debe verificar que el tanque del camión distribuidor esté nivelado.

Para determinar la tasa de emulsión asfáltica en l/m^2 , el inspector debe conocer el ancho y el largo de la superficie en la cual se aplicará o aplicó el riego de liga, ya que el valor de volumen o peso aplicado dividido entre el área de aplicación constituyen la tasa de aplicación tal como se muestra en la siguiente fórmula.

$$\text{Tasa de riego } (L/m^2) = \frac{\text{medición volumen inicial}(L) - \text{medición volumen final } (L)}{\text{Longitud atendida}(m) \times \text{ancho promedio atendida}(m)}$$

Otra forma en que el inspector puede verificar la cantidad de litros aplicados, la longitud y área de la superficie donde se aplicó la emulsión es mediante el tablero electrónico con el que cuentan algunos camiones. Para esto es importante que el inspector verifique que los contadores estén en ceros al inicio de la jornada laboral.



Figura 23. Medidor volumétrico a bordo
Fuente: LanammeUCR, 2018

Las lecturas de volumen serán afectadas por la temperatura a la que se encuentre el material, por lo que es necesario registrar las temperaturas inicial y final para poder convertir el volumen a cualquier otra temperatura en caso de ser necesario.

2. Por peso:

El segundo método, menos común, consiste en pesar el camión distribuidor antes de dar inicio al riego de liga y volver a pesarlo una vez finalizado el proceso, la diferencia de pesos será la masa de emulsión aplicada.

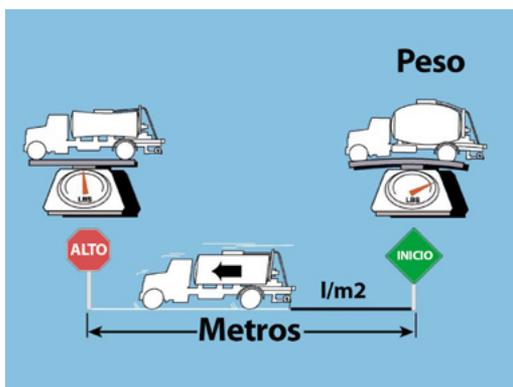


Figura 24. Medición de tasa de aplicación por peso
Fuente: Asphalt Institute, 2015

Al igual que el caso anterior, si el inspector desea conocer la tasa de emulsión asfáltica en l/m² se debe conocer tanto el ancho como el largo de la superficie en la cual se aplicará o aplicó el riego de liga y aplicar la ecuación:

$$\text{Tasa de riego (L/m}^2\text{)} = \frac{(\text{peso inicial(kg)} - \text{peso final(kg)}) / \text{densidad (} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3\text{)} \cdot 1000}{\text{Longitud atendida(m)} \times \text{ancho promedio atendida(m)}}$$

5.6 Rompimiento y curado

5.6.1 Tiempo de rompimiento y curado

Una vez que la emulsión asfáltica es aplicada sobre la superficie, el inspector debe velar que la emulsión rompa o cure previo a la colocación de la capa asfáltica.

El inspector como mínimo debe garantizar el cumplimiento del tiempo de rompimiento de la emulsión como el necesario para iniciar la pavimentación.

Ahora bien, el tiempo de curado o rompimiento total no debe verse como una demora para la realización de la colocación de la so-

brecapa, más bien debe considerarse como una práctica correcta para disminuir el efecto de la adherencia de la emulsión del riego de liga a las llantas de la vagoneta que entra a la zona de obra.

El inspector debe conocer que existen diversos factores que pueden afectar el tiempo de rompimiento y curado de la emulsión asfáltica. Los mismos deben considerarse en el momento de la aplicación del material como lo son:

- Temperatura ambiente.
- Humedad relativa.
- Velocidad del viento.
- Temperatura de la superficie del pavimento donde se colocará el riego de liga.
- Temperatura de aplicación del riego de liga.
- Tasa de dosificación.
- Tipo de emulsión.
- Dilución de la emulsión

Debido a estos numerosos factores es difícil establecer un tiempo preciso para el rompimiento y curado de la emulsión.

A manera de referencia el reporte NCHRP 712 (National Cooperative Highway Research Program, 2012), define un tiempo de curado de una emulsión asfáltica entre un rango de 30 minutos a 2 horas, haciendo la salvedad que dependerá de la tasa de aplicación y condiciones ambientales como se explicó anteriormente.

El inspector como mínimo debe garantizar el cumplimiento del tiempo de rompimiento de la emulsión como el necesario para iniciar la pavimentación.

5.6.2 Arrastre de liga

El arrastre del riego de liga es un problema ocasionado en el área de trabajo por el tránsito de las llantas de las vagonetas para descargar la mezcla asfáltica a la pavimentadora o por el tránsito de vehículos, generando la pérdida del asfalto residual en la superficie donde fue aplicado el riego y comprometiendo la adherencia en la sección sin cobertura del material asfáltico. Este es un problema constructivo común en los frentes de colocación de sobrecapas asfálticas cuando no se cuenta con dispositivos de transferencia de mezcla asfáltica hacia la pavimentadora o cuando no se cuenta con un adecuado control de tránsito en obra (ver Figura 25).



Figura 25. Arrastre riego de liga debido al tránsito de vehículos sobre la emulsión
Fuente: Asphalt Institute, 2014

El inspector debe conocer que el problema de arrastre de riego de liga es generado por múltiples factores entre los que se pueden mencionar:

- Tipo de emulsión
- Suciedad y humedad en el área de intervención

- Falta de tiempo suficiente para que la emulsión rompa totalmente
- Maniobras excesivas de vagonetas en el área de intervención
- Entrada de vagonetas sucias al riego de liga

En relación con el arrastre el riego de liga debe contemplar las siguientes consideraciones:

El inspector debe sugerir que las áreas donde se haya presentado el problema de arrastre del riego de liga en forma excesiva sean corregidas, reaplicando la tasa de la emulsión asfáltica en las zonas donde se haya perdido el riego.

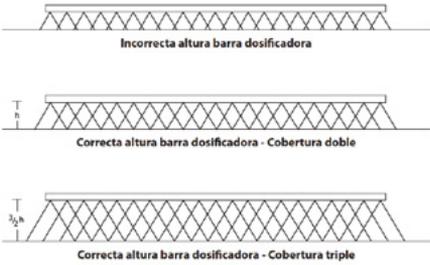
El inspector tampoco debe permitir las maniobras excesivas de las vagonetas sobre la superficie intervenida, así como el estacionamiento sobre el área con riego de liga.

6. Lista de chequeo

Se muestra a continuación una lista de chequeo que puede ser de utilidad para los inspectores de obra en la ejecución de sus labores durante la aplicación del riego de liga.

Cuadro 4 Evaluación de prácticas constructivas durante la colocación del riego de liga

Datos del proyecto		
Ítem	Resultado	
Ruta y sección de control		
Estación de inicio y final del tramo evaluado:	Inicio	Final
Longitud atendida (m)		
Ancho promedio(m)		
Material utilizado		
Ítem	Resultado	
Tipo de emulsión		
La emulsión es diluida o no		
Tasa de dosificación a aplicar (suministrada por ingeniero de proyecto o contratista)		
Temperatura de la emulsión asfáltica		
Calibración del equipo		
Ítem	Resultado	
Camión dosificador o tanqueta		
Anote la marca y modelo del distribuidor de asfalto		
¿Han sido calibrados todos los dispositivos de medición tales como tacómetros y termómetros?	Sí	No
¿Están los calentadores y sistema de bombeo en buenas condiciones?	Sí	No
¿Se observan fugas de emulsión asfáltica en el camión dosificador?	Sí	No
¿Se utiliza el sistema de bombeo automatizado o manual?	automatizado	manual

Barra dosificadora		
¿Está limpia la barra dosificadora?	Sí	No
¿Está alineada la barra en forma que la aplicación sea la correcta?	Sí	No
¿Se usan las extensiones de las barra dosificadora y están alineadas en relación con la barra dosificadora?	Sí	No
<p>Anote la altura de la barra de dosificación con respecto al suelo (cm):</p> 		
Boquillas		
¿Se dio mantenimiento el día anterior a las boquillas?	Sí	No
¿Están limpias las boquillas?	Sí	No
Anote el código o número de boquilla		
¿La abertura de boquilla es adecuada según el riego seleccionado, (revisar en manual de camión)?	Sí	No
¿Están alineadas las boquillas en forma que la aplicación sea la correcta?	Sí	No
Ángulo de las boquillas	Marque con X	
		



Condición superficial y ambiental

Ítem	Resultado	
¿El proyecto cuenta con la adecuada señalización de la zona de trabajo?		
Tipo de superficie sobre la que se coloca el riego de liga		
¿La superficie donde se aplicará el riego de liga está limpia y barrida libre de polvo?	Sí	No
¿La superficie donde se aplicará el riego de liga está seca y libre de acumulaciones de humedad?	Sí	No
¿Hora en la que se aplica el riego de liga: se aplica de noche o de día?		
Anote la temperatura ambiente y humedad a la que se aplica el riego de liga		
¿Se presentan condiciones climáticas de lluvia antes y/o durante el proceso de aplicación del riego de liga?	Sí	No
¿Se presentan condiciones climáticas de viento durante el proceso de aplicación del material?	Sí	No
Tramo de prueba		
Ítem	Resultado	
¿Se realizó tramo de prueba?	Sí	No
¿Se ajustaron y calibraron parámetros del camión dosificador para asegurar un riego uniforme con adecuada cobertura?	Sí	No

¿Se realizaron ensayos para determinar la tasa de dosificación?	Sí	No
En caso de realizarse pruebas de laboratorio, consulte e indique la tasa de dosificación obtenida por el laboratorio		
Aplicación del riego de liga		
Ítem	Resultado	
Datos del camión dosificador		
Anote la tasa de dosificación indicada en el tablero de control del camión en caso de que este cuente con el mismo		
Anote las revoluciones del motor del camión durante el riego de liga (rpm) y presión (psi):		
Anote el ancho de trabajo promedio empleado por el operario del camión		
Estimación de la tasa de dosificación		
Indique el volumen inicial del tanque de emulsión asfáltica		
Indique el volumen final de la emulsión asfáltica		
Indique el área total en la cual fue aplicada el riego de liga		
Determine la tasa de emulsión asfáltica aplicada $\text{Tasa de riego } (L/m^2) = \frac{\text{medición volumen inicial}(L) - \text{medición volumen final } (L)}{\text{Longitud atendida}(m) \times \text{ancho promedio atendido}(m)}$		
¿La tasa estimada coincide con la tasa registrada en el panel del camión dosificador?	Sí	No

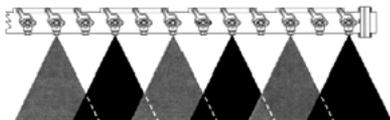
¿La tasa estimada coincide con la tasa sugerida por la ingeniería de proyecto o contratista?	Sí	No
¿Se realizaron ensayos en sitio para verificar la tasa de dosificación?	Sí	No
Indique la tasa de dosificación obtenida por el laboratorio en caso de realizarse los ensayos		

Uniformidad y cobertura del riego de liga

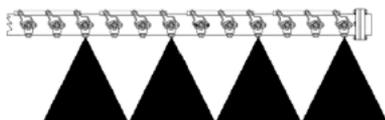
Cobertura del abanico del camión dosificador



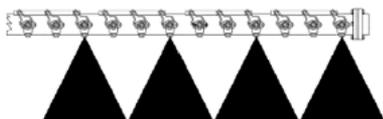
Compuesto triple



Compuesto doble



Simple



Rayado

¿La cobertura del riego de liga es uniforme y presenta buena cobertura?	Sí	No
Indique el porcentaje de cobertura aproximada del riego		
¿Se corrigieron las zonas con poca cobertura de riego de liga?	Sí	No
¿Se observaron pozos o acumulaciones de emulsión asfáltica en el riego aplicado? (tomar fotos)	Sí	No
En caso de haber exceso de riego de liga, ¿estos fueron eliminados?	Sí	No
¿Se observó buena cobertura en juntas longitudinales y transversales?	Sí	No
¿En las juntas se observó la utilización de papel para proteger el riego existente?	Sí	No
Rompimiento y curado del riego de liga		
Indique el tiempo promedio entre la colocación de riego de liga y el inicio de la pavimentación		
¿La emulsión asfáltica rompió (cambio de coloración de café a negro)?	Sí	No
¿Se brinda un tiempo adicional a la emulsión después del rompimiento?	Sí	No
¿Se produce el ingreso prematuro de vagonetas al área con riego de liga antes del rompimiento?	Sí	No
¿Hay vagonetas estacionadas sobre el riego de liga?	Sí	No
¿Se observa arrastre de riego de liga en las llantas de las vagonetas?	Sí	No

7. Ejemplos ilustrativos de prácticas adecuadas e inadecuadas en la aplicación del riego de liga

7.1 Prácticas adecuadas



Figura 26. Ensayos para verificar que el riego sea uniforme y determinar la cantidad de emulsión aplicada



Figura 27. Limpieza de la superficie a intervenir con cepillos o barredora mecánica



Figura 28. Limpieza y buen estado del equipo



Figura 29. Selección de boquillas de acuerdo con las características del camión dosificador y la tasa de dosificación deseada



Figura 30. Orientación de boquillas colocadas en la misma dirección



Figura 31. Medición de la altura de la barra rociadora respecto a la superficie



Figura 32. La aplicación del riego de liga es uniforme y homogénea, con paredes recubiertas



Figura 33. Cobertura triple del material, re aplicación de emulsión en área donde se perdió el riego de liga



Figura 34. Adecuada cobertura en cortes de junta longitudinal



Figura 35. Eliminación del exceso de riego de liga, el excedente se debe retirar con esponjas, toallas o cepillos



Figura 36. Tiempo de curado antes de la colocación de la sobrecapa



Figura 37. Protección del camión dosificador para evitar salpicaduras de emulsión asfáltica



Figura 38. Vagonetas estacionadas fuera del riego de liga

7.2 Prácticas deficientes



Figura 39. Riego de liga sobre superficie sucia y empolvada



Figura 40. Riego de liga excesivo para compensar superficie empolvada



Figura 41. Aplicación de riego de liga sobre superficie con grietas sin sellar



Figura 42. Ausencia de limpieza y obstrucción de boquillas



Figura 43. Riego de liga no uniforme y sin adecuada cobertura, producto del uso de boquillas con una abertura mayor según tasa de dosificación aplicada
Fuente: LanammeUCR, 2016



Figura 44. Ángulo de boquillas distinto entre ellas, modifica patrón de riego en borde



Figura 45. Altura de barra excesiva hasta 50 cm de altura



Figura 46. Variación de la altura a lo largo de la barra rociadora



Figura 47. La presión de rocío no es suficiente para que la expulsión de la emulsión asfáltica sea en forma de abanico. El patrón de rocío no es el mismo para todas las boquillas



Figura 48. Cobertura no uniforme (riego de liga en rayas) producto de incorrecta altura de la barra rociadora y/o inadecuada presión del bombeo de emulsión



Figura 49. Riego de liga heterogéneo y sin cobertura total de la superficie

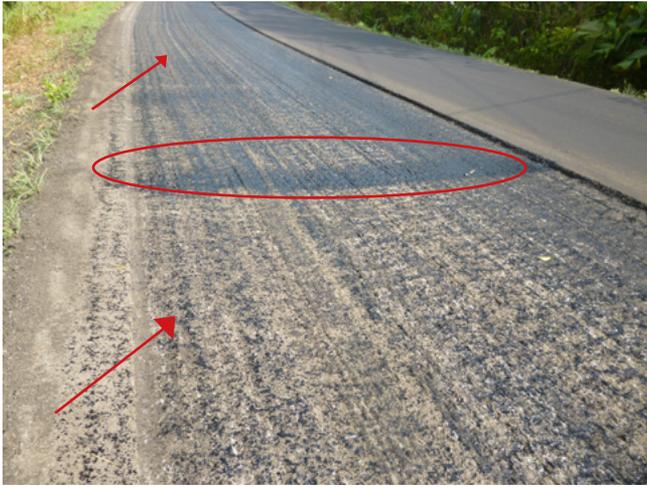


Figura 50. Patrones de riego de liga distintos en la misma sección donde se realiza intervención



Figura 51. Aplicación manual no uniforme del riego de liga. Los patrones de riego de liga son distintos en el área de aplicación



Figura 52. Tasas de aplicación de emulsión asfáltica menores a las señaladas por la ingeniería de proyecto. La cobertura del riego de liga de las áreas ensayadas es deficiente



Figura 53. Cobertura deficiente en las juntas longitudinales y transversales



Figura 54. Aplicación manual del riego de liga sin equipo de seguridad



Figura 55. Riego de liga excesivo



Figura 56. Concentración de riego de liga por traslape entre aplicaciones en tramos adyacentes



Figura 57. Derrame de emulsión asfáltica debido a fugas en la barra rociadora del camión dosificador



Figura 58. Aplicación manual de emulsión asfáltica sobre zonas con presencia de humedad y polvo



Figura 59. Vagonetas estacionadas sobre el riego de liga



Figura 60. Arrastre del riego de liga por vagonetas en la colocación de asfalto



Figura 61. Colocación de mezcla asfáltica sobre emulsión sin romper y con humedad



Figura 62. Colocación mezcla asfáltica en emulsión sin romper

Referencias

- Asphalt Institute. (2008). *Basic Asphalt Emulsion Manual MS-19, Fourth Edition, USA.* Asphalt Institute. (2015). *Tack Coat Best Practices.* USA.
- Department of Transportation of California. (2009). *Tack Coat Guidelines.* State of California.
- Elizondo-Arrieta, F., Torres-Linares, P., Rodríguez-Castro, E, Aguiar-Moya, J., Loría-Salazar, L. (2017). *Evaluación de la adhesión de emulsiones asfálticas utilizada en riegos de liga para pavimentos asfálticos LM-PI-UMP-066-R1.* LanammeUCR, Universidad de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica.
- Flexible Pavements of Ohio. (2012). *Technical Bulletin: Proper Tack Coat Application,* Columbus, Ohio.
- Federal Highway Administration (2005). *Guidelines for using prime and tack coats,* Publication No. FHWA-CFL/TD-05-002. U.S. Department of Transportation
- Instituto Mexicano del Transporte (2000), *Norma N-CTR-CAR-1-04-005/00, CTR.* Construcción, México.
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010,* San José Costa Rica.
- Mohammad, L., Raqib, M., Huang, B. (2002). *Influence of Asphalt Tack Coat Materials on Interface Shear Strength.* Transportation Research Record, Transportation Research Board. No 1789, Washington, D.C.
- National Cooperative Highway Research Program. (2012). *NCHRP Report 712, Optimization of Tack Coat for HMA Placement,* Mohammad, et. al. Transportation Research Board Washington, D.C.
- National Cooperative Highway Research Program. (2018). *NCHRP Synthesis 516, Tack Coat Specifications, Materials, and Construction Practices,* Mohammad, et. al. Transportation Research Board Washington, D.C.
- Ulloa, A. (2012). *Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio. Métodos y Materiales, Volumen 2,* LanammeUCR, Universidad de Costa Rica, San Pedro Costa Rica.

Unidad de Auditoría Técnica-LanammeUCR

Centro de Transferencia Tecnológica

Diagramación, diseño y control de calidad: Katherine Zúñiga Villaplana /
Óscar Rodríguez Quintana. Enero, 2019.

Guía para inspectores: Aplicación de Riego de Liga

Información de contacto



(506) 2511-2500



direccion.lanamme@ucr.ac.cr



www.lanamme.ucr.ac.cr



(506) 2511-4440



Código Postal: 11501-2060

LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales