

Cálculo de la dotación de riegos de adherencia en rehabilitaciones sobre firmes bituminosos sometidos a fresado superficial

J. Julián Rivera,
jjulianrivera@hotmail.com.ar

H. Gerardo Botasso

Hugo D. Bianchetto

Argentina

Cuando un firme bituminoso es sometido a una rehabilitación mediante la aplicación de una nueva capa bituminosa superpuesta, es requisito extender sobre éste un riego bituminoso de adherencia, en una dotación generalmente preestablecida. Cuando este firme es sometido además a operaciones de fresado superficial previas, la textura que ofrece se modifica. Por ello, esa dotación debe afectarse en cierto grado. Por un lado, al fresar se produce un incremento de superficie en la interfase entre ambas capas, lo que podría llevar a un aumento de la dotación de riego a emplearse. Por el otro, se generan por el fresado surcos paralelos longitudinales, que pueden acarrear el escurrimiento del riego bituminoso, lo que daría lugar a una deposición excesiva. Entre ambas situaciones debe llegarse a una solución de compromiso, que permita alcanzar un comportamiento óptimo. El presente trabajo aborda la temática y logra una solución a esta solución en base a ensayos al corte directo de especímenes con este tipo de interfase, en los distintos grados de textura hallados en la obra vial, aplicados sobre materiales característicos de la Argentina; y de una adaptación del Ensayo de Parche de Arena, que permite establecer en obra el grado de textura de cada tramo de fresado en particular y aplicar así correcciones a la dotación en función de la misma. Dicho trabajo se realiza en el LEMaC, Centro de Investigaciones Viales de Argentina. Se presentan detalles de las tareas efectuadas, el modelo de solución y el procedimiento para su aplicación.

Palabras Clave: Refuerzos Bituminosos, Riego de Adherencia, Fresado de Firmes.

When an asphalt pavement is subjected to a rehabilitation with the overlay of a new asphalt layer, it is required to extend over it an asphalt tack coat, in a dosage usually pre-established. But when this pavement is also subjected to previous surface milling operations, its texture is modified. Therefore, the pre-established tack coat dosage should be affected in some degree. On the one hand, when milling, there is an increase of the area at the interface between the two layers, which could lead to an increase in the tack coat dosage to be used. On the other hand, longitudinal parallel ruts are generated by milling, which can lead to the runoff of asphalt coat, generating an excessive deposition in the latter ones. Between both situations, a compromise solution must be reached, which allows an optimum performance to be achieved. The present work analyzes this thematic and establishes a solution based on direct shear tests of specimens with this type of interface, in the different degrees of texture found in a road project, applied on characteristic materials of Argentina; and an adaptation of the Sand Patch Test, allowing to establish on site the degree of texture generated by milling, and the corrections of tack coat dosage depending on it. This work was developed in the LEMaC, Road Research Center of Argentina. The details of the tasks performed are presented, giving as a conclusion the solution model and the procedure for its application.

Keywords: Asphalt Reinforcement, Tack Coat, Pavement Milling.

Cálculo de la dotación de riegos de adherencia en rehabilitaciones sobre firmes bituminosos sometidos a fresado superficial

1. Introducción

Durante la fase de explotación de un firme se desarrollan actividades dirigidas a su mantenimiento y rehabilitación, con la finalidad de dotarlo nuevamente de sus condiciones iniciales. Entre los casos de rehabilitación, existen aquellos en los cuales se elimina parte de la capa de rodamiento, lo cual se realiza mediante el empleo de técnicas de fresado [1], dada una excesiva deformación transversal del firme y/o al envejecimiento del mismo por la acción climática y la sollicitación del tráfico [2].

El proceso de fresado implica el empleo de equipos del tipo rotatorio, provistos de herramientas de desbaste, las cuales dan origen a diferentes texturas muy diferentes a la que podría hallarse en una superficie de rodamiento original, ya que la misma, en términos relativos, puede considerarse "lisa" [3,4].

Luego del fresado, corresponde disponer un riego de adherencia, consistente en la aplicación de una emulsión bituminosa, con el objetivo de conseguir su unión con la capa de revestimiento que se vaya a ejecutar con posterioridad para establecer una adecuada interfase [6]. Se debe profundizar, por ello, el análisis de la aplicación de dichos riegos sobre las capas bituminosas fresadas, dadas las condiciones particulares que éstas presentan, de acuerdo a lo que se ha expuesto. Se encara entonces el análisis necesario correspondiente, el cual tiene como campo de aplicación la rehabilitación con capas bituminosas de firmes, constituyentes de las políticas de conservación y mantenimiento llevadas adelante por las reparticiones públicas en sus redes viales urbanas y rurales; o por empresas privadas en la materialización de estas tareas en redes viales de parques industriales, terminales de transporte, barrios cerrados, etc.

2. LA REHABILITACION DE LOS FIRMES BITUMINOSOS

2.1 La dotación del riego de adherencia

La cantidad de ligante bituminoso residual sobre la superficie del firme es el factor más importante en la obtención de un vínculo adecuado entre la superficie del firme existente y la nueva capa de mezcla bituminosa en caliente. En consecuencia, la tasa de aplicación de una emulsión bituminosa utilizada como riego de adherencia debe basarse en la cantidad deseada del residuo bituminoso estipulada por las Especificaciones Téc-

nicas Particulares de la obra. En tal sentido, cabe acotar lo establecido para vías de su jurisdicción por la Dirección Nacional de Vialidad de la Argentina (DNV) en su "Pliego de especificaciones técnicas generales para riegos de liga con emulsiones asfálticas", donde se estipula que la emulsión a utilizarse sea del tipo CRR-0 o CRR-1 (encuadrando en la Norma IRAM 6691 como emulsión catiónica de curado rápido), con una dotación que arroje un resultado de al menos 0,7 MPa en el ensayo de adherencia entre capas de rodadura del proyecto de norma UNE-EN 12697-48 (ensayo de corte sobre testigos, Leutner o de SBT) y que se ubique en el rango de 0,25 kg/m² a 0,40 kg/m² [8]. Estos valores sólo deben tomarse a los efectos del presente trabajo como indicativos, pues al implementar una metodología de ensayo que incluye algunas adaptaciones relacionadas con los objetivos en específico establecidos, las resistencias al corte esperables durante su ejecución no son directamente comparables a lo especificado.

2.2 El empleo del fresado en la rehabilitación

El equipo de fresado puede dar origen a diversos resultados de textura superficial. En cuanto al rango de texturas obtenibles, se puede establecer en vistas a los estudios a realizarse que, si se quisiera contar con una escala de seis casos patrones a ser considerados, los mismos podrían fijarse en los valores que se observan en la Tabla 1 [5,6,9,10].

Tabla 1. Casos patrones de fresado a ser analizados

Caso	Distancia entre surcos (mm)	Profundidad fresado (mm)
1	0,8	1,0
2	11,4	2,4
3	14,8	3,8
4	18,2	5,2
5	21,6	6,6
6	25,0	8,0

3. RESPUESTA MECANICA DE LA INTERFASE

La consideración estructural de la interfase que se realice en un caso en particular, estará condicionada al modelo estructural de análisis que se emplee, pues puede ser abordada des-

de diversos puntos de vista [11,12]. En los firmes flexibles multicapas, las tensiones generadas por la acción del tráfico son introducidas en la estructura a través de la capa de rodamiento y transmitidas, a través de ésta, hacia las capas inferiores de la estructura y la subrasante [13,14]. Las mejoras en los procesos de análisis, incluyendo un adecuado modelado de la interfase, llevan a reducir costos de mantenimiento y rehabilitación [15]. Por esto, es necesario estudiar el modelado del paquete estructural reforzado y analizar de ser posible la incidencia del fresado, abarcándose los rangos de profundidad de surcos y separación de los mismos, que presentan físicamente diferencias en la constitución de la interfase [16].

Los ensayos de corte son un buen y efectivo método para analizar la adherencia en interfases de firmes bituminosos [17]. La incógnita que surge se relaciona entonces en cuanto a cuál podría ser una forma de reflejar los niveles de adherencia que pueden darse en las interfases y, más específicamente, en las interfases entre capas bituminosas ante la existencia de tareas de fresado en las mismas.

Ante solicitaciones estáticas hasta rotura, Romanoschi (1999) ha obtenido gráficas de las curvas típicas de esfuerzo de corte vs. desplazamiento y esfuerzo normal vs. desplazamiento al corte, en su estudio de interfases entre capas bituminosas [15]. De éstas, dada la naturaleza cíclica de la carga en las interfases de firmes, sólo los sectores elásticos y el sector de fricción del ensayo estático hasta rotura son empleables en la descripción de las condiciones de la interfase. El modelo constitutivo de interfase propuesto que describe la interfase entre capas bituminosas es entonces un modelo de dos etapas. En la primera etapa, el desplazamiento de corte o el desplazamiento relativo de las dos capas en la interfase es proporcional a la fuerza de corte (modelo de Goodman), proporcionalidad proveniente del módulo de reacción de la interfase K en la dirección horizontal (Ecuación 1).

$$\tau = K \cdot du \quad (1)$$

En la mayoría de los casos, cuando el diámetro de la probeta es igual al del zuncho, el primer sector puede analizarse directamente un módulo de reacción de la interfase K en el modelo constitutivo, hasta el Esfuerzo de Corte Máximo (S_{max}). Si se considera que las variaciones de resultados obte-

nibles a diferentes temperaturas pueden ser acotadas si se toma una temperatura de referencia, adoptada como representativa, el análisis simplificado de la situación puede llevarse adelante. Por otro lado, en los antecedentes analizados se puede ver que en los casos de muestras sin riego de adherencia se ha observado que el módulo de reacción de la interfase K difiere más fuertemente con el nivel del esfuerzo normal aplicado que en los casos con riego de adherencia. Como mayoritariamente en este trabajo se analizan situaciones con riego de adherencia, puede pensarse entonces en un modelo resumido, en donde la primera etapa de la curva esfuerzo/deformación al corte se da cuando el esfuerzo al corte es menor que la resistencia al corte de la interfase (punto de falla S_{max}), dado que la interfase no ha llegado a su rotura; lo cual se da a un determinado Desplazamiento al Corte (TD). Una vez que la interfase ha fallado, y la segunda etapa comienza, la interacción entre capas puede ser descrita como de fricción simple, caracterizada por el coeficiente de fricción μ , aunque la determinación de este parámetro queda por fuera del alcance del presente trabajo. Este modelo constitutivo simplificado para la interfase entre capas bituminosas puede ser representado entonces como se observa en la Figura 1.

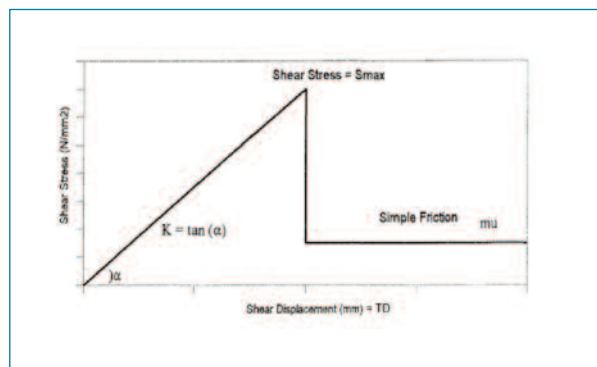


Figura 1. Modelo constitutivo simplificado de la interfase asfalto-asfalto [18]

4. EL ENSAYO AL CORTE DE LA INTERFASE

El ensayo al corte se aproxima a la solicitación real en la que se encuentra sometido el riego de adherencia en una estructura de un firme. El valor de adherencia que se obtiene se ve influenciado por la resistencia friccional que aportan los agregados pétreos de ambas caras de las superficies adheridas y la textura de dichas caras [13]. El ensayo seleccionado para su aplicación en el presente trabajo es el que solicita al corte di-

Cálculo de la dotación de riegos de adherencia en rehabilitaciones sobre firmes bituminosos sometidos a fresado superficial

recto por tracción en forma paralela a la interfase del riego de adherencia. En la Figura 2 puede observarse una imagen de la realización de este ensayo.



Figura 2. Ensayo seleccionado para el estudio

En función de los datos recabados y de las experiencias efectuadas por Delbono (2014) y Ricci (2011) en las propias instalaciones del LEMaC, se decide generar el esfuerzo cortante en el plano a evaluar, utilizando una prensa capaz de ejercer el esfuerzo de tracción a una velocidad de avance controlada de 1,27 mm/min [3,7]. Se decide además establecer la temperatura de ensayo en los 20 °C, por reflejar una temperatura representativa de la región utilizada en experiencias previas, y que puede ser fácilmente obtenible y mantenida mediante sistemas sencillos de acondicionamiento, tanto de las probetas como del ambiente de ensayo. Se establece para las experiencias un plazo mínimo de acondicionamiento a esa temperatura de 4 horas.

Para este trabajo, las probetas a ensayarse, denominadas como “probetas dobles” (compuestas por espesores de 50 mm tanto de base como de capa de refuerzo), se moldean siguiendo el procedimiento de:

- Colocar en un juego de base y molde (de 100 mm de diámetro interno y altura mínima de 100 mm), acondicionado en estufa a 140 °C durante 15 minutos, la mezcla bituminosa en la cantidad necesaria para lograr una capa compactada de 50 mm de espesor (para el caso en estudio aproximadamente 1000 gr), calentada hasta la temperatura correspondiente a una

viscosidad del ligante bituminoso de $2,8 \pm 0,3$ poises (para el caso en estudio 140 °C).

- Se acomoda la mezcla con una cuchara, se coloca un papel de filtro en la parte superior y se la compacta con el pisón Marshall mediante 100 golpes por única vez en su cara superior, asegurándose la limpieza y temperatura del pisón.
- Se retira del molde la probeta (previo inmersión en agua durante 4 minutos), se la deja secar y se aplica sobre la cara que estuvo en contacto con la base del molde el tratamiento en estudio, si lo hubiera (en este caso, la simulación del fresado en laboratorio que se explica más adelante, por ejemplo).
- Se introduce la probeta con la cara tratada hacia arriba, sobre una base, en un nuevo molde de 101 mm de diámetro interno y altura mínima de 130 mm.
- Se aplica, mediante pincel y por pesado hasta alcanzar los valores de cálculo correspondientes, la dotación de riego de adherencia en estudio, dejando una hora de reposo en estufa a 60 °C, para que se produzca el corte y curado de la emulsión.
- Se acondiciona el conjunto de moldes en estufa a 140 °C durante 15 minutos.
- Se introduce en el molde mezcla bituminosa en la cantidad necesaria para lograr una nueva capa compactada de 50 mm de espesor (para el caso en estudio aproximadamente 1000 gr), en las mismas condiciones que la capa inferior. Se acomoda la mezcla con una cuchara y se coloca un papel de filtro en la parte superior. Se compacta con 100 golpes del pisón Marshall en su cara superior, asegurándose la limpieza y temperatura del mismo. Terminada la compactación se deja enfriar en agua por un lapso de 4 minutos y se desmolda.
- Se deja secar y enfriar la probeta obtenida a temperatura ambiente.

Otra aclaración respecto del ensayo a ser empleado puede ser realizada, dado que para permitir el desarrollo de la interfase fresada se ha decidido separar los zunchos que toman la parte superior e inferior de la probeta doble unos 30 mm. Esto genera que además de la deformación propia registrada en la interfase durante el ensayo se tenga una deformación relacionada con ambas partes de la probeta en este sector. Se obtiene de esta forma, mediante el ensayo a ser utilizado, una defor-

mación tangencial diferente a la obtenible con el ensayo de corte SBT citado en la especificación técnica aplicable, y tensiones de corte también diferentes a las obtenibles cuando estos zunchos se encuentran separados una distancia mínima. Por lo expuesto, los resultados de TD y de Smax a ser obtenidos en este trabajo, son sólo comparables en forma relativa entre sí, y no con los especificados u obtenibles con otras metodologías de ensayo.

5. ANALISIS DEL INCREMENTO DE AREA DE INTERFASE POR FRESADO

Las diversas fuentes consultadas asignan a la superficie dentada, generada por el fresado, diferentes perfiles típicos y dimensiones. Más allá de cual sea el tipo de perfil que se decida tomar como representativo, puede observarse que al fresar se genera el aumento de superficie implicada por área tratada en planta, con la necesidad de establecer el incremento de riego a aplicarse por ello. La causa de esto reside en que la dotación de un riego de adherencia se especifica para una superficie lisa, como la obtenida en una capa de recientemente ejecución. Pero dado que cuando se aplica un fresado se da lugar a una superficie con un perfil no plano, se observa un incremento de ésta respecto de su componente proyectada.

En busca de estimar este incremento señalado, se ha visto como factible dirigir los esfuerzos a la adaptación de un método de ensayo de amplia difusión en el medio vial, como es el caso del Ensayo del Parche de Arena, el cual es originalmente empleado en la medición de la macrotextura de un firme.

Al contar con los resultados de los incrementos de área $\Delta(\text{Area})$ registrados ante diversas combinaciones de ancho y profundidad del surco (es decir sus valores medios y dispersiones), se pueden hallar los modelos de regresión que permitan la estimación en futuras aplicaciones de dicho $\Delta(\text{Area})$ a partir de los diámetros obtenibles del empleo de una metodología de ensayo análoga a la del Parche de Arena. Se plantea específicamente llevar la determinación de los $\Delta(\text{Area})$ mediante técnicas de simulación numérica. Siguiendo esta línea de trabajo, los autores de la presente divulgación, a partir del análisis una de las siluetas de fresado adoptables, han logrado establecer que la fórmula que permite estimar el Coeficiente del Incremento del Area (CIA) en función del Diámetro del Parche de Arena (DPA) resultante para un volumen de arena de 40 cm³, es la que se observa en la Ecuación 2.

$$CIA = 5,03 DPA^{-0,41} \quad (2)$$

Esta correlación ha sido además corroborada con los resultados obtenibles al menos en laboratorio. Las memorias de las tareas llevadas adelante en tal sentido pueden consultarse en el trabajo "Metodología para estimación de dotación de riego de liga en refuerzos asfálticos sobre superficies fresadas", presentado en el XIX Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto llevado a cabo en noviembre de 2017 en Medellín, Colombia [18]. Vale señalar en tal sentido que esa corroboración se efectuó sobre probetas de los 6 casos representativos establecidos, confeccionadas con la mezcla bituminosa utilizada en el estudio, la cual se describe más adelante, y moldeadas con el equipo de Roller Compact. Sobre esas probetas se simuló mediante el aserrado con una hoja diamantada los distintos grados de fresado (en la Figura 3 se observa la probeta colocada sobre la mesa deslizante de la máquina de aserrado utilizada), estableciéndose luego los diámetros de parche de arena DPA en forma ortogonal y promedio (Tabla 2) a ser tomados de referencia más adelante para cada uno de los casos de estudio.



Figura 3. Simulación fresado probeta Caso 1

Tabla 2. Diámetros de Parche de Arena

Caso	D ₁ (cm)	D ₂ (cm)	DPA (cm)
1	23,8	24,5	24,2
2	20,0	19,6	19,8
3	16,0	16,1	16,1
4	12,8	13,1	13,1
5	11,7	11,7	11,6
6	10,2	10,1	10,2

Finalmente cabe acotar que como conclusión de dicha publicación, además, se arriba a la Tabla 3 con los valores repre-

Cálculo de la dotación de riegos de adherencia en rehabilitaciones sobre firmes bituminosos sometidos a fresado superficial

sentativos basados en observaciones de campo de las dimensiones de los casos a ser considerados y su variabilidad, definidos por las medias μ y su desvío estándar σ de las dimensiones que se observan en la Figura 4.

Tabla 3. Dimensiones de los casos representativos

Caso	h_1		h_2		h_3	
	μ (mm)	σ (mm)	μ (mm)	μ (mm)	σ (mm)	σ (mm)
1	2,9	0,8	8,0	1,0	0,4	
2	4,1	1,1	11,4	2,4	0,9	
3	5,3	1,4	14,8	3,8	1,4	
4	6,5	1,7	18,2	5,2	1,9	
5	7,8	2,0	21,6	6,6	2,4	
6	9,0	2,4	25,0	8,0	3,0	

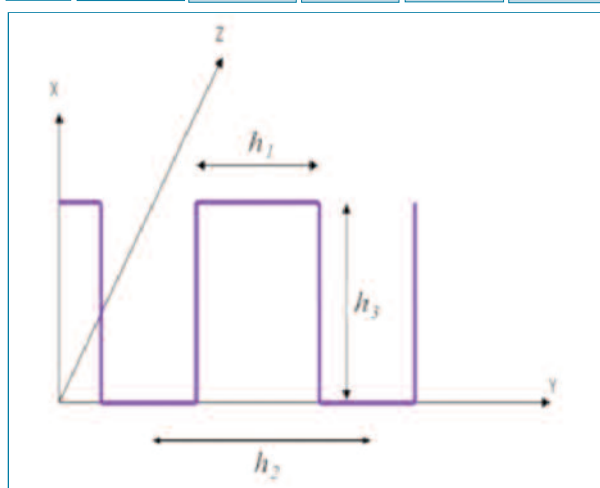


Figura 4. Dimensiones del perfil dentado

6. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE RIEGO DE ADHERENCIA PARA SUPERFICIE NO FRE-SADA

Para poder analizar la influencia del incremento de superficie de la interfase en los sistemas abordados, dada la existencia del fresado, se debe contar con una dotación de riego de adherencia en estudio representativa, que posibilite luego el arribo a conclusiones por el análisis comparativo de los resultados que se obtengan. Se aborda entonces la obtención de esta dotación para el caso de la no existencia del fresado en la interfase

(superficie "lisa"), que será luego utilizada con diversas afectaciones en el análisis de las situaciones de interfase con fresado.

La emulsión bituminosa a ser empleada en los ensayos y análisis constituyentes de este estudio, es del tipo catiónica de corte rápido.

La mezcla bituminosa seleccionada para la investigación, tanto para la constitución del sustrato inferior como superior, es un Concreto Asfáltico en Caliente convencional Denso con Tamaño Máximo de sus agregados de 19 mm (CAC-D19). Se utiliza una muestra tomada de la producción de una planta asfáltica de la zona de la ciudad de La Plata.

Se decide efectuar el análisis con probetas dobles constituidas por estos materiales, con el empleo del ensayo de corte directo establecido como de referencia, buscando el contenido óptimo que arroje los máximos valores de resistencia ante la sollicitación aplicada. Dados los entornos de dotaciones recomendados por la bibliografía de consulta, se decide analizar los contenidos de riego de adherencia, expresados como su residuo asfáltico por unidad de superficie, de 0,0 l/m², 0,1 l/m², 0,2 l/m², 0,3 l/m² y 0,4 l/m². Estableciendo un número de 3 probetas por contenido, se procede a moldear y ensayar las 15 probetas a ser analizadas. Puede elaborarse luego el resumen de resultados de la Tabla 4 con los valores promedios de la tensión de corte máxima S_{max} y de desplazamiento al corte en la rotura TD. Se establece como dotación óptima a 0,25 l/m².

Tabla 4. Valores promedio obtenidos versus dotación de riego de adherencia

Dotación (l/m ²)	S_{max} (MPa)	TD (mm)
0,0	0,268	13,0
0,1	0,300	11,1
0,2	0,318	9,9
0,3	0,327	10,1
0,4	0,303	11,3

7. ANALISIS MEDIANTE ENSAYOS EN CASOS CON SUPERFICIES FRESADAS

Dada la dotación óptima de riego de adherencia establecida para la interfase de superficies lisas entre las capas en estudio, resta ahora analizar desde el punto de vista mecánico si en

el caso de las superficies fresadas resulta efectivamente necesario incrementar la dotación en forma proporcional al incremento de área generado por la textura resultante después del fresado. Esta duda surge, entre otros aspectos, porque es probable que un incremento excesivo en la dotación del riego de adherencia no se distribuya en forma homogénea sobre la superficie fresada, debido a la fuerza de gravedad actuante durante la distribución del riego y el grado de fluidez de la emulsión, pudiéndose generar un depósito de mayor espesor en el valle de los surcos.

Para efectuar entonces el análisis de esta situación se decide, a partir del contenido óptimo de riego de adherencia de 0,25 l/m² determinado para los materiales empleados en esta experiencia, estudiar cuatro situaciones. Estas situaciones representan un incremento de esa dotación en 3/3, 2/3, 1/3 y 0/3 de proporción del incremento del área de contacto en la interfase por el fresado, para la Situación 1 a la Situación 4, respectivamente. Para establecer las respuestas ante los ensayos de corte directo instrumentados, de los 6 casos de simulación de fresado, empleando los incrementos de riego calculados como necesarios, se procede al moldeo de las probetas dobles a ser analizadas, utilizando a tal fin el procedimiento diseñado y estableciendo un número de 3 probetas por caso y por situación. Luego de moldeadas las bases se procede al aserrado superficial de las probetas, de acuerdo a los parámetros ya establecidos para los 6 casos de simulación. En la Figura 5 se observa el proceso de aserrado de una probeta correspondiente al Caso 5.



Luego de la simulación del fresado y la aplicación del riego correspondiente se procede al moldeo de las probetas dobles, siguiendo el procedimiento ya descrito oportunamente. En la Figura 6 se observan las probetas moldeadas para la Situación 4, a manera de ejemplo.



Figura 5. Aserrado de una probeta del Caso 5

Cabe destacar aquí que dado que la flexión principal del firme se da en su sentido longitudinal y que el fresado presenta su superficie dentada también en este sentido, se decide efectuar los ensayos con la probeta doble dispuesta de acuerdo a la orientación que puede observarse en la Figura 7.

Los resultados obtenidos permiten desarrollar la Tabla 5, en la cual se vuelcan los valores promedio de S_{max} para los correspondientes valores de coeficiente de incremento del riego (CI), en cada Caso y cada Situación. Los cálculos en tal sentido se realizan a partir de los valores representativos de diáme-



Figura 6. Probetas de la Situación 4

Cálculo de la dotación de riegos de adherencia en rehabilitaciones sobre firmes bituminosos sometidos a fresado superficial

tro de parche de arena DPA de cada caso, volcados en la Tabla 2, utilizando la Ecuación 2 y las proporcionalidades explicadas al definir la Situación 1 a 4.

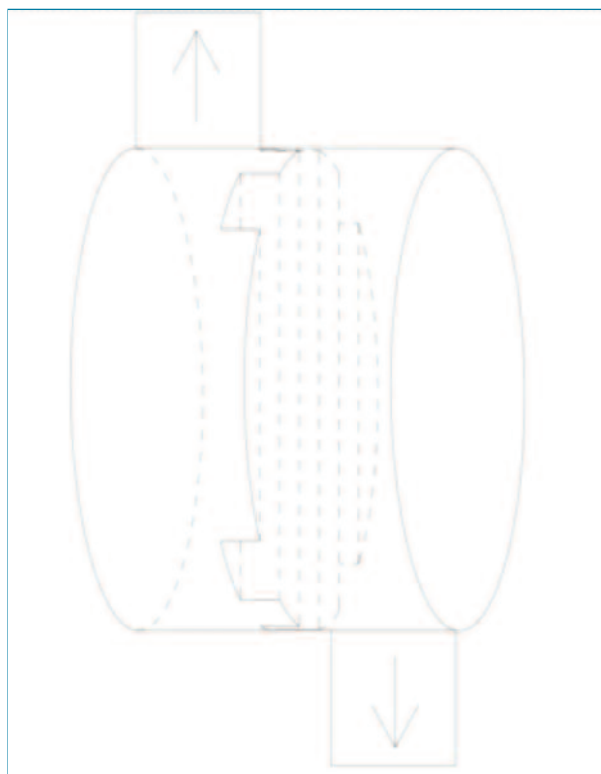


Figura 7. Orientación del fresado en el ensayo

$$DRI = CIR \cdot DR \quad (3)$$

Para arribar a los coeficientes de incremento del riego CIR en función de los diámetros de parche de arena DPA, resta entonces correlacionar a los valores obtenidos para cada caso, volcados en la Tabla 2, con los coeficientes de incremento CI óptimos establecidos (asumidos ahora como los coeficientes de incremento del riego CIR). En la Tabla 6 se observan los valores de ambas variables a ser correlacionadas y en la Figura 8 la gráfica con la correlación obtenida.

Tabla 6. Valores de CIR versus DPA

Caso	CIR	DPA (mm)
1	1,121	24,2
2	1,160	19,8
3	1,204	16,1
4	1,253	13,0
5	1,280	11,6
6	1.315	10,2

Tabla 5. Resumen de resultados de Smax para ensayos sobre superficie fresada

	Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4		Caso 5		Caso 6	
	CI	Smax (MPa)	CI	Smax (MPa)	CI	Smax (MPa)	CI	Smax (MPa)	CI	Smax (MPa)	CI	(MPa)
Situación 1	1,363	0,187	1,479	0,227	1,612	0,235	1,760	0,214	1,841	0,257	1,945	0,202
Situación 2	1,242	0,263	1,319	0,286	1,408	0,256	1,507	0,263	1,561	0,270	1,630	0,325
Situación 3	1,121	0,334	1,160	0,313	1,204	0,355	1,253	0,308	1,280	0,329	1,315	0,348
Situación 4	1,000	0,151	1,000	0,215	1,000	0,256	1,000	0,247	1,000	0,269	1,000	0,300

Dado que se obtiene para todos los Casos que la Situación 3 implica los coeficientes de incremento CI óptimos, se puede proceder ahora a establecer el Coeficiente de Incremento de Riego (CIR), que permitiría finalmente, mediante la Ecuación 3, establecer la dotación de riego incrementada DRI, partiendo de una dotación de riego para la interfase lisa DR.

Como se observa en la Figura 8, se puede ajustar por regresión a la nube de puntos una función del tipo potencial, la cual permite obtener un coeficiente de determinación R2 de 0,99, acorde al umbral empírico generalmente establecido para estudios de esta índole de 0,90 [19].

La fórmula que permite finalmente establecer el coeficien-

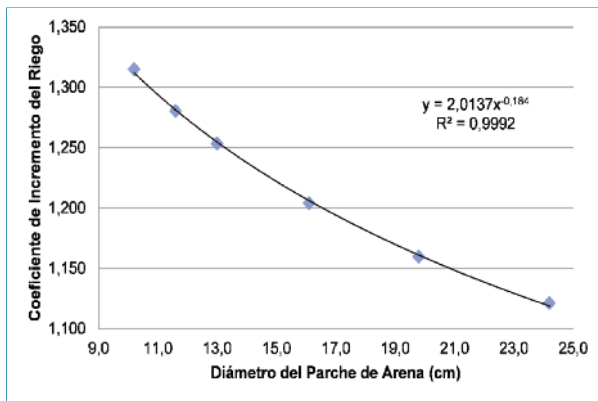


Figura 8. Gráfica de CIR versus DPA

te de incremento de riego CIR en función del diámetro del parche de arena DPA, resultante para un volumen de arena de 40 cm³, es la que se observa en la Ecuación 4.

$$CIR = 2,014 \cdot DPA^{-0,184} \quad (4)$$

Una idea de partida con que se cuenta es que en una obra, es posible que se registren diversos tramos homogéneos de superficie fresada a ser reforzada, ya sea porque se realiza esta tarea con diferentes equipos, con un mismo equipo al que se le han ido modificando partes, por ejemplo por razones de mantenimiento (cambio de puntas de fresado, modificación del tambor de fresado, etc.), por la variabilidad misma en el empleo de dicho equipo y de su operador, etc. La metodología de análisis resultante, a partir de esta consideración, puede emplearse allí partiendo de la determinación por algún medio directo de la dotación óptima a utilizarse en el caso de una interfase entre superficies lisas. Luego se procede al ajuste de dicha dotación en función de la realización de mediciones con la metodología análoga al Parche de Arena y la aplicación del modelo desarrollado, en cada tipología de tramo homogéneo registrada en obra. La otra forma de empleo, es que en cada tramo representativo de los materiales de la obra se extraigan testigos de la carpeta de rodamiento existente luego de haber sido aplicado un fresado sobre dicha superficie y de haberse realizado las mediciones correspondientes con la metodología análoga al Parche de Arena desarrollada, a la manera de “tramo de prueba”. Se confeccionan con estos testigos y con el material a ser empleado en el refuerzo las probetas dobles necesarias y se determina el contenido óptimo de riego de adherencia para la interfase con esa textura de fresado. Esto permi-

te entonces aplicar sobre esa dotación establecida el modelo desarrollado en forma inversa, de manera tal de establecer virtualmente cuál sería la dotación óptima de riego de adherencia si el ensayo se hubiera realizado en el caso de la interfase lisa. Alcanzada esta dotación, se procede luego al ajuste de la misma en función de la realización de mediciones con la metodología análoga al Parche de Arena y la aplicación del modelo desarrollado en cada tipología de tramo homogéneo registrada en obra, tal cual en la primera opción.

8. CONCLUSIONES

En función de los estudios realizados, puede concluirse que:

- El establecimiento de la dotación de un riego bituminoso de adherencia en la interfase entre capas bituminosas de un firme en rehabilitación, donde la capa previamente existente es sometida a un fresado superficial, es un tema que no había sido estudiado profundamente, al menos en lo que respecta a los materiales existentes en la Argentina.
- Para abordar esta temática es útil partir del conocimiento del grado de textura generado por el fresado, dado el espectro relevado existente en tal sentido, para lo cual puede adoptarse una sistemática de ensayo desarrollada análoga a la del Ensayo de Parche de Arena.
- Mediante los resultados de dicha aplicación es posible establecer, gracias al modelo arribado, el Coeficiente del Incremento del Riego a emplearse para afectar al contenido óptimo de riego de adherencia aplicable en el caso de que la interfase fuera lisa (sin fresado).
- Existen procedimientos variados, abordados en el trabajo, que permiten la aplicación en tramos homogéneos de fresado de obras viales de la metodología de análisis producto de los estudios llevados adelante.

9. REFERENCIAS

- [1] NCHRP. (2004). Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures, National Research Board, 1-37A team, EEUU.
- [2] Miller, J., Bellinger, W. (2003). Distress identification ma-

Cálculo de la dotación de riegos de adherencia en rehabilitaciones sobre firmes bituminosos sometidos a fresado superficial

- nual for the long-term pavement performance program, fourth revised edition. Report No. FHWA-RD-03-031, Washington DC, EEUU.
- [3] Delbono, H. L. (2014). Estudio de Grillas Poliméricas en Sistemas Anti-reflejo de Fisuras bajo Solicitaciones Dinámicas, Tesis Doctoral en Ingeniería mención Materiales, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata (inérita), 379 p. La Plata, Argentina.
- [4] Wirtgen. (2015). El mundo de las fresadoras en frío de Wirtgen, Wirtgen Group Company, Alemania.
- [5] Bussard, M. (2014). Milling & Micro Milling, P.R. Systems Inc., EE UU.
- [6] Montetrusque, M., Bernucci, et al. (2015). Avaliação da adherencia de geogrelhas entre camadas asfálticas, Memorias XVIII Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, ISBN 978-950-630-031-9, Bariloche, Argentina.
- [7] Ricci, L. A. (2011). Evaluación de adherencia entre capas asfálticas con intercapa de geosintético, tesis de Maestría en Ingeniería en Transporte – Orientación Vial, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- [8] DNV. (2017). Pliego de especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo densos, Dirección Nacional de Vialidad, Argentina. [Consultado en julio de 2017 en: http://www.vialidad.gov.ar/sites/default/files/PETG_1.pdf]
- [9] The Asphalt Contractor. (2011). How Micromilling is Saving States Money on Asphalt Road Repairs, The Asphalt Contractor Magazine, EEUU. [Consultado 12 de diciembre de 2016 en: <http://www.forconstructionpros.com/article/10456001/how-micromilling-is-saving-states-money-on-asphalt-road-repairs>]
- [10] Wirtgen. (2013). Wirtgen cold milling manual. Technology and application, Wirtgen GmbH, Alemania.
- [11] EICAM. (1998). Curso de actualización de diseño estructural de caminos, método AASHTO93, Universidad Nacional de San Juan, Argentina.
- [12] Uzan, J., Livneh, M., et al. (1978). Investigation of adhesion properties between asphalt concrete layers, Proc. Assoc. Asphalt Paving Technologists, St. Paul, Minn, 47, 495-521, EEUU.
- [13] Giovanón, O., Buono, F. (2008). Riego de liga su importancia estructural y análisis tensional, XXXV Reunión del Asfalto, Comisión Permanente del Asfalto, Rosario, Argentina.
- [14] Yaacob, H., Hainin, M.R., et al. (2014). Information for the malaysian asphalt industry towards better pavement interlayer bonding, Sains Malaysiana, n 43, vol 3, pp 467-474, Malasia.
- [15] Romanoschi, S.A. (1999). Characterization of Pavement Layer Interfaces, Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College, EEUU.
- [16] Brown, S. F., Brunton, J. M. (1984). The influence of bonding between bituminous layers, Highways Transportation, 31(5), 16-17, EEUU.
- [17] D'andrea, A., Tozzo, C., et al. (2013). Interfase roughness parameters and shear strength, Modern Applied Science (ISSN 1913-1844), Canadian Center of Science and Education, vol 7, n 10, Canadá.
- [18] Rivera, J., Bianchetto, H., et al. (2017). Metodología para estimación de dotación de riego de liga en refuerzos asfálticos sobre superficies fresadas, Trabajo 049, XIX Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Medellín, Colombia.
- [19] Bello, M. (2016). Apuntes de la capacitación sobre predicción y bondad de ajuste, Capacitaciones Software-Shop, Colombia.