

MODELO PARA CORRECCION DE DOSAJE DE RIEGOS DE LIGA SOBRE SUPERFICIES FRESADAS EN REFUERZOS ASFALTICOS

DOSING CORRECTION MODEL OF TACK COAT ON MILLED SURFACES IN ASFALTIC REINFORCEMENTS

José Julián Rivera¹, Hugo Daniel Bianchetto², Angel Florencio Queizán³

1 Subdirector LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, La Plata (1900), Bs. As., Argentina, jrivera@frlp.utn.edu.ar, +54-9-221-5319163

2 Docente del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Avellaneda, Ramón Franco 5050, Villa Domingo, Bs. As., Argentina, hbianchetto@fra.utn.edu.ar

3 Miembro del Grupo de Investigación en Hidráulica, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, La Plata (1900), Bs. As., Argentina, aqueizan@frlp.utn.edu.ar

Título reducido: Riego de liga en firmes fresados

Resumen

El dosaje de un riego de liga entre capas asfálticas, se especifica generalmente considerando un grado de lisura de la superficie receptora. Cuando debe efectuarse sobre una superficie fresada, se tiene un grado de textura elevado, de acuerdo a las características del equipo de fresado utilizado. Se genera así un incremento de la superficie a ser tratada por unidad de superficie proyectada en planta, que requiere de la corrección de ese dosaje. Para establecer esta corrección, pueden aplicarse metodologías basadas en parámetros estimativos, que no resultan satisfactorias. En vistas a ello, se desarrolla una metodología de análisis, análoga a la aplicación del ensayo de parche de arena, de amplia difusión. Mediante esta forma de medición en obra y los modelos de correlación desarrollados, se arriba a estimaciones del incremento de dosaje de riegos de liga más confiables.

Palabras Clave: Refuerzos Asfálticos, Riego de Liga, Fresado de Pavimentos.

Abstract

The tack coat dosage between asphalt layers is generally specified by considering a degree of smoothness of the receiving surface. When it is carried out on a milled surface, a high degree of texture appears, according to the characteristics of the milling equipment used. This is thus translated in an increase of the surface to be treated per unit of surface projected in plant, which requires a correction of the tack coat dosage. To establish this correction, methodologies based on estimative parameters can be applied, but with no satisfactory results. In view of this problem, an analysis methodology, analogous to the application of the widely known sand patch test, is developed. With that on-site measurement form and the correlation models developed, more reliable estimations of the increase of tack coat dosage are given.

Key words: Asphalt Reinforcement, Tack Coat, Pavement Milling

Introducción

El refuerzo de firmes se ha empleado en la ingeniería a lo largo de la historia. Sus inicios datan de alrededor del año 1913, avanzando en su utilización hasta 1981, cuando aparece el concepto de adherencia entre la carpeta existente y la capa de refuerzo, sin embargo sólo hasta hace pocos años se ha dado su aceptación y estudio [I].

Recientemente se ha lanzado la segunda edición del Programa Estratégico de Investigaciones en Carreteras (Strategic Highway Research Program - SHRP), llamada SHRP-2 Solutions. Esta abarca cuatro áreas fundamentales: seguridad en las carreteras, renovación de pavimentos, confiabilidad en el tiempo de viaje y capacidad. Cabe señalar que el área de renovación de pavimentos se centra en la necesidad de acelerar la entrega de proyectos de renovación con mínimas interrupciones al tráfico y las comunidades, al tiempo que se producen pavimentos de larga duración. Se establece de este modo la misión de renovar firmes en forma rápida y durable [II].

Entre los casos de refuerzos, se encuentran aquellos en donde la evaluación superficial y/o estructural del firme, establecen el requisito de eliminar espesores de la capa de rodamiento, siendo habitual el empleo de técnicas de fresado del pavimento en la ingeniería vial [III]. Esta decisión se basa en muchos casos en una notoria deformación transversal del firme, generando el conocido fenómeno de las roderas, y/o al envejecimiento del mismo por la acción climática y la sollicitación del tráfico, con la consiguiente pérdida de agregados superficiales, entre otras condiciones de deterioro que pueden llevar a tal decisión [IV]. De esta forma, además, se elimina el fenómeno de recrecido, con las correspondientes disminuciones en gálibos [V].

A partir de la segunda mitad de la década de 70, se comienza con el desarrollo del equipo de fresado, tanto en América del Norte como en Europa. Se genera así una herramienta adecuada para posibilitar y garantizar el desbaste del firme en los espesores deseados. En la actualidad esta es una técnica comúnmente aplicada, atenuando además el efecto de la propagación de fisuras [VI].

Existe una divergencia sobre la clasificación de los tipos de fresado y sus aplicaciones de acuerdo a las fuentes que se consulte, pero a los efectos buscados es suficiente clasificarlo en función de la textura resultante en la vía, dependiendo del tipo de cilindro empleado y su velocidad de operación. En la actualidad existen diferentes cilindros en el mercado, con diversa distancia de ataque de los dientes de corte. Respecto de la textura obtenible en la vía se puede clasificar entonces como [VII]:

- Fresado estándar; introducido inicialmente en el mercado. La distancia lateral de ataque de los dientes de corte en el firme se ubica alrededor de los 15 mm. Es utilizado para el desbaste de una capa superficial para la posterior aplicación de nueva capa de refuerzo.
- Fresado fino; introducido posteriormente al fresado estándar como resultado de la aplicación de cilindros fresadores con la distancia lateral de ataque de los dientes de corte de aproximadamente 8 mm, resultando menores surcos y textura en la vía. Esta técnica es muy

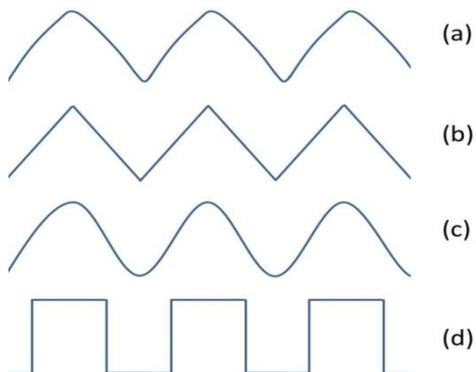
utilizada en la regularización horizontal, posibilitando mejores condiciones al tráfico de los usuarios. En algunos casos, con este tipo de aplicación se puede eliminar el refuerzo posterior de la vía.

- Microfresado; resultante del empleo de un cilindro provisto con dientes de corte posicionados lateralmente a una distancia de aproximadamente 2 a 3 mm. Genera la remoción de una capa muy delgada del revestimiento para la adecuación del perfil longitudinal o retiro de tiras o franjas de señalización horizontal, siendo la aplicación posterior de una nueva capa de revestimiento totalmente desechable.

Por otro lado, las diversas fuentes consultadas asignan a la superficie dentada, generada por el fresado, diferentes perfiles típicos y dimensiones. En la Figura 1 pueden observarse los perfiles típicos del esquema (a) con forma de picos ondulados [VII], el esquema (b) con forma de pliegues rectos [VIII], el esquema (c) con la forma de ondulación [IX] y el esquema (d) de perfil dentado [X]. En la Tabla 1 se observa un resumen de las distancias habituales entre surcos del fresado y su profundidad, halladas en las fuentes consultadas.

Tabla 1. Casos de fresado de referencia

Fuente: elaboración propia



Caso	Dist. entre surcos (mm)	Prof. fresado (mm)
1	8,0	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

Figura 1. Estimaciones de perfiles de corte

Fuente: elaboración propia

Además, en los refuerzos de firmes asfálticos, corresponde la aplicación de un riego de liga, consistente en la distribución de una película de emulsión asfáltica sobre la superficie fresada, con el objeto de su unión con la capa de refuerzo a ejecutar con posterioridad, estableciendo una adecuada interfase [X, XI]. Esta técnica de refuerzo con capas adheridas se aplica en casos en donde el firme existente presenta una buena condición estructural [I].

La adherencia lograda entre la capa de rodamiento y la subyacente resulta de fundamental importancia para el apropiado comportamiento de la estructura. No lograrla implica la imposibilidad de una adecuada transmisión de las tensiones actuantes en el pavimento a la capa subyacente, con el correspondiente incremento de las tensiones de tracción en las fibras inferiores de la capa de rodamiento y su fisuración prematura por fatiga [IX, XII].

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 el dosaje de un riego de liga 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 [IX], como puede observarse en la Figura 2.

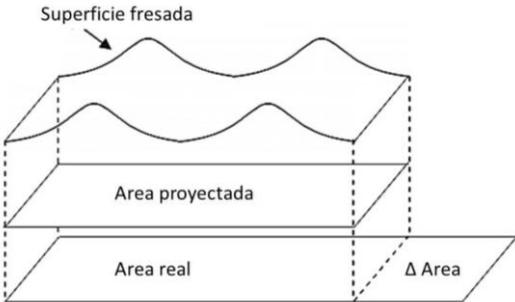


Figura 2. Incremento de Area por fresado
 Fuente: Montetrusque et al, 2015 [IX].

Diversos autores han estudiado el problema planteado. Entre estos vale citar los trabajos efectuados por el equipo de Montetrusque (2015) [IX], que han permitido desarrollar una metodología de análisis basada en el perfil dentado de la Figura 1c. Ésta se basa en la superficie fresada que se obtiene mediante la Ecuación 1, representada en la Figura 3 [IX].

$$x^2 \cdot y + a^2(y - a) = 0 \tag{1}$$

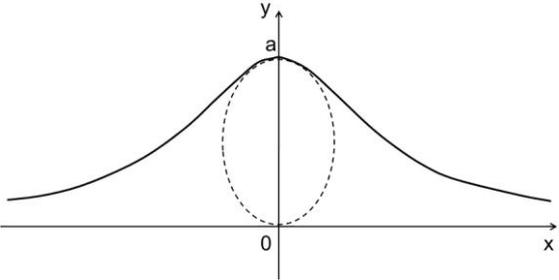


Figura 3. Asimilación de superficie a una curva
 Fuente: Montetrusque et al., 2015 [IX]

Sobre esa base se han estimado los incrementos de área debido al fresado, tomando como parámetros indicativos a la profundidad de los surcos y la distancia entre sus ejes. Ambos como medidas fijas de la superficie en cuestión. El empleo de la metodología citada, puede considerarse un aporte a la temática, pero presenta el inconveniente de sostenerse en el establecimiento de un valor

único para cada variable, lo cual contrasta con lo observable en la práctica, ya que la aplicación del fresado presenta una amplia variabilidad en tal sentido [XIII].

En busca de evitar este inconveniente señalado, se plantea la estandarización de otras metodologías preliminares existentes. Cabe citar en tal sentido, que se ha relevado que en Rhode Island y otros estados de los Estados Unidos, se aplica una técnica rudimentaria para estimar la textura de una superficie fresada, desparramando un volumen de microesferas de vidrio con un palo de hockey sobre hielo mediante movimientos circulares. Si la superficie que se genera abarca menos de un diámetro determinado, entonces no se tiene una adecuada superficie para la optimización del empleo de un espesor de refuerzo por resultar su textura excesiva [VII]. Otras experiencias análogas se llevan a cabo en China, sin existir aun una normalización en tal sentido [XIV].

A partir de lo expresado, 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. Este ensayo consiste en la distribución sobre una superficie de un volumen específico de una arena de río de grano redondeado (o microesferas de vidrio) de granulometría normalizada, utilizando para ello un pisón que posee una base de goma [XV]. Cuando este volumen llena los huecos superficiales, se obtiene su máximo diámetro de dispersión. Al dividir ese volumen por la superficie de distribución lograda, se tiene la profundidad media de los huecos rellenos por el volumen, expresada generalmente en mm. En la Figura 4 se observa una imagen de la realización en laboratorio del ensayo.



Figura 4. Realización de ensayo de parche de arena en laboratorio

Fuente: elaboración propia

Metodología

Al contar con los resultados de los incrementos de área $\Delta(Area)$ 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 $\Delta(Area)$ 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 $\Delta(Area)$ mediante técnicas de simulación numérica.

Se decide para ello plantear matemáticamente una silueta que responda a la tipología de la Figura 1d, en vistas de continuar luego las investigaciones con el resto de perfiles para futuras presentaciones. De esta forma se puede desarrollar un perfil fresado sobre un *plano XY*, a partir del cual se genera la superficie fresada a lo largo del *eje Z*, construyendo secciones transversales paralelas al *plano XY*, con una equidistancia entre ellas igual a Δz . Estas secciones transversales permiten generar la perturbación en forma aleatoria del perfil inicial desarrollado, involucrando perfiles aleatorios a lo largo del *eje Z*, reproduciendo mediante un número aleatorio entre [-1,1], que siga una distribución establecida, las variaciones reales a ser determinadas con los correspondientes análisis. Así se posibilita la aplicación de la metodología análoga a la del Parche de Arena sobre la superficie fresada generada virtualmente, simulando el volcado de un volumen dado de arena fina (o microesferas) y su distribución al ras sobre la superficie fresada, definiendo lo que daría por resultado un círculo de radio R . Numéricamente este proceso se puede materializar buscando definir el mínimo de la *función S*, la cual depende únicamente del radio del círculo R , quedando la función definida como se observa en la Ecuación 2.

$$\text{Min}_R \{S(R)\} = \text{Min}_R \left\{ \left(V_{dato} - V_{calc}(R) \right)^2 \right\} \quad (2)$$

Donde V_{dato} es el volumen de arena volcado y $V_{calc}(R)$ el volumen contenido en la superficie fresada aleatoria para un radio R .

Para definir el mínimo de la función $S(R)$ se puede utilizar un método de orden cero basado por ejemplo en la metodología de la Sección Golden, el cual define una sucesión de puntos que convergen al mínimo de la función. Siendo su mínimo $R = R^*$ se posibilitaría arribar entonces a que $V_{dato} = V_{calc}(R^*)$.

Definiendo casos base de simulación en función de los resultados del relevamiento de dimensiones habituales de fresado clasificados por rangos acotados, se pueden simular una serie de superficies aleatorias, las cuales llevan en cada caso a un radio R simulado de distribución de la arena, y por lo tanto a una "superficie mojada" dentro del círculo de la geometría fresada (S_{moj}), la cual sería mayor al área definida por el círculo de radio R . Esta "superficie mojada" será aquella a ser impregnada por el riego de liga, pudiéndose analizar su relación por unidad de superficie afectada mediante el incremento $\Delta(Area)$ calculado con la Ecuación 3.

$$\Delta(Area) = S_{moj} - \pi R^2 \quad (3)$$

Al graficar los resultados obtenidos, puede establecerse el modelo de dependencia funcional entre $\Delta(\text{Area})$ y el radio R (o el diámetro al multiplicar éste por 2), lo cual permite luego en campo, aplicando la metodología análoga al Parche de Arena, estimar el incremento de riego de liga a utilizarse respecto del valor de referencia a una superficie lisa.

Desarrollo experimental

Para el desarrollo planteado considerando el perfil dentado tipo “d” (Figura 1d), se establece una superficie fresada definida por el ancho superior del diente (h_1), la altura del diente (h_3) y la separación entre surcos (h_2). Con estos datos se puede desarrollar el perfil fresado sobre el *plano XY*, que se observa en la Figura 5.

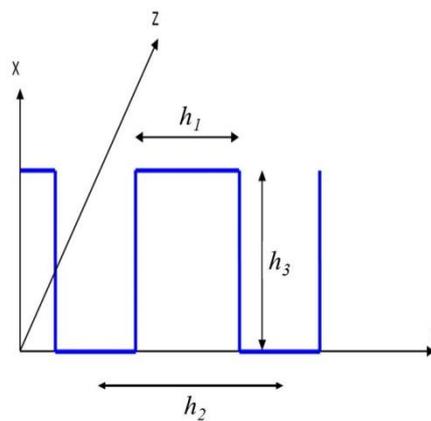


Figura 5. Perfil de simulación en *plano XY*

Fuente: elaboración propia

El análisis de las variabilidades de los parámetros de los casos de la Figura 5, se realiza a partir de la extracción de testigos de dos obras sometidas a fresado con dos equipos diferentes, los cuales se observan en la Figura 6. A estos testigos se les practica una base de yeso para lograr el paralelismo de sus caras, procediéndose luego a su aserrado con hoja diamantada (Figura 7), lográndose secciones de análisis cada 1 cm de profundidad.



Figura 6. Testigos acondicionados
Fuente: elaboración propia



Figura 7. Aserrado de testigos
Fuente: elaboración propia

A las secciones logradas se les practica un escaneo de precisión, aplicando luego mediante el programa computacional MatLab un reglado cada 1 mm en sentido horizontal y vertical, obteniéndose imágenes como la que se observa de ejemplo en la Figura 8.

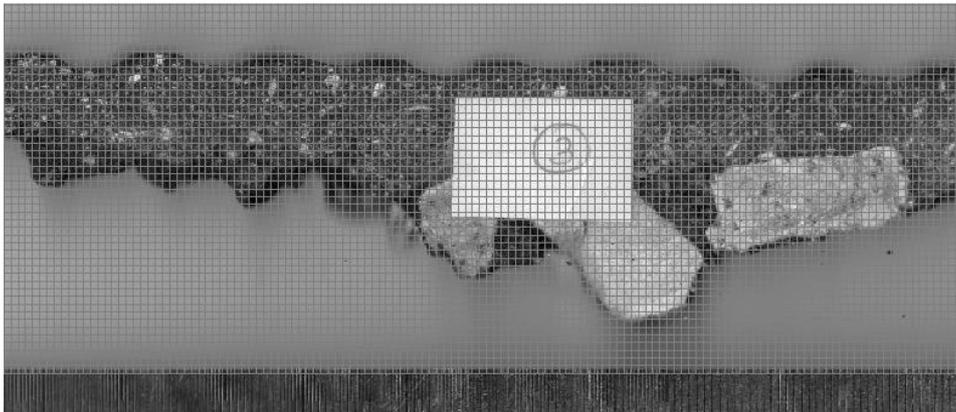


Figura 8. Sección de análisis con superficie reglada
Fuente: elaboración propia

Sobre estas imágenes se realiza la medición de los parámetros que definen el perfil de fresado, obteniéndose en cada caso los resultados de los Coeficientes de Variación (porcentual de la Media/Desvío Estándar) que se observan en la Tabla 2, los cuales por resultar lo suficientemente coincidentes han sido finalmente promediados.

Como se puede observar, la variabilidad de la distancias entre surcos h_2 es marcadamente menor que las de h_1 y h_3 , lo que guarda relación con el hecho de que en la práctica los equipos de fresado presentan sus herramientas de desbaste separadas una distancia constante. Por ello se decide en las simulaciones a efectuarse establecer a este parámetro como fijo.

Tabla 2. Dispersiones de la media en parámetros de perfil de fresado

Fuente: elaboración propia

Caso	Coeficientes de Variación			Relación h_1/h_2
	h_1	h_2	h_3	
Testigo A	25,3%	9,2%	38,7%	32,0%
Testigo B	27,4%	10,1%	35,4%	40,0%
Promedios	26,4%	9,6%	37,0%	36,0%

Se procede además al análisis estadístico de las mediciones efectuadas en ambas probetas, obteniéndose los resultados de Curtosis y Coeficiente de Asimetría que se vuelcan en la Tabla 3. Estos valores indican que las mediciones efectuadas responden adecuadamente a una distribución normal por resultar en todos los casos dentro del $[-2, 2]$, lo cual habilita al empleo de dicha distribución en las simulaciones a realizarse.

Tabla 3. Estadísticos de las mediciones en Probetas A y B

Fuente: elaboración propia

Caso	Probeta A			Probeta B		
	h_1	h_2	h_3	h_1	h_2	h_3
Testigo A	-0,5	-0,7	-0,7	-0,6	-0,4	-0,5
Testigo B	0,1	-0,1	0,2	-0,3	-0,4	0,2

Se arriba así a la Tabla 4, donde se vuelcan los casos a ser simulados matemáticamente, definidos por sus medias μ y su desvío estándar σ .

Tabla 4. Casos de simulación

Fuente: elaboración propia

Caso	h_1		h_2	h_3	
	μ (mm)	σ (mm)	μ (mm)	μ (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

A continuación, para establecer el volumen de arena a ser empleado en el ensayo en desarrollo, se procede a generar una rutina de análisis mediante el programa MatLab, basada en hallar el mínimo en la Ecuación 2, utilizando una metodología de los números de Fibonacci, sin necesidad de calcular derivadas (método de orden 0). Mediante esta rutina se analizan los diámetros obtenibles en la aplicación del ensayo para volúmenes crecientes desde 20 cm^3 hasta 75 cm^3 , en los casos de análisis tomados a partir de las medias sin dispersión. Se arriba así a un volumen de ensayo óptimo

de 40 cm³, pues es el que llevaría a la obtención de Parches de Arena en su aplicación con diámetros de entre 10 cm a 30 cm aproximadamente, tal cual puede observarse en la Tabla 5.

Tabla 5. Radios de ensayo para distintos volúmenes de arena

Fuente: elaboración propia

Volumen (cm ³)	Diámetros (cm)					
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6
20	20,0	13,0	10,4	8,9	7,9	7,4
25	22,3	14,5	11,5	10,0	8,7	8,2
30	24,5	15,8	12,6	10,7	9,7	9,0
35	26,5	17,1	13,6	11,7	10,5	9,4
40	28,3	18,2	14,5	12,5	11,2	10,0
45	30,0	19,4	15,4	13,3	11,9	10,7
50	31,6	20,4	16,3	13,9	12,3	11,4
55	33,2	21,4	17,1	14,5	12,9	12,0
60	34,6	22,4	17,7	15,2	13,6	12,5
65	36,1	23,2	18,5	15,9	14,2	13,0
70	37,4	24,1	19,2	16,5	14,7	13,5
75	38,7	24,9	19,9	17,1	15,3	13,9

Habiendo sido establecido el volumen de análisis, se procede a la simulación de los casos a partir de sus medias y dispersiones mediante una nueva rutina desarrollada en el programa MatLab, generando secciones transversales aleatorias en función de las variaciones de la Tabla 4, las cuales son luego usadas para calcular las superficies y volúmenes implicados, mediante la regla de integración numérica del trapecio, siendo la distancia entre secciones transversales de 1 mm. Se generan de esa manera por simulación 10 superficies aleatorias para cada uno de los casos. Los resultados obtenidos de esta forma permiten generar la nube de puntos de la gráfica Coeficiente de Incremento de Area versus Diámetro del Parche de Arena, que se observa en la Figura 9.

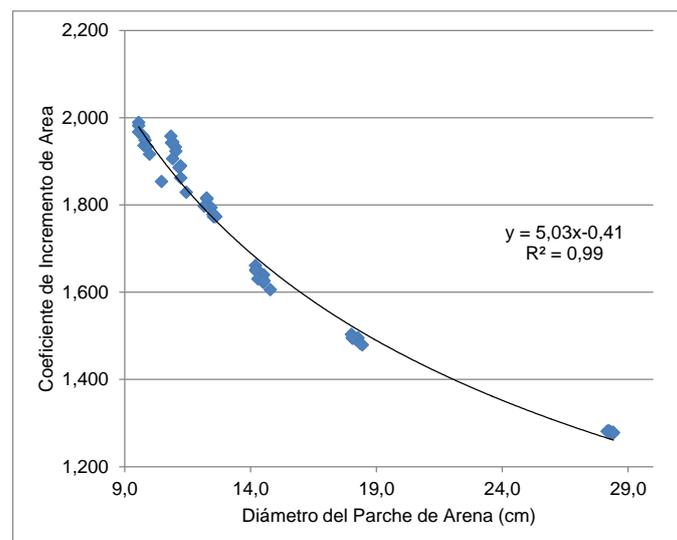


Figura 9. Incremento de Area versus Diámetro del Parche de Arena

Fuente: elaboración propia

En la Figura 9 se observa que se puede ajustar, por regresión a la nube de puntos, una función del tipo potencial, la cual permite obtener un coeficiente de determinación R^2 de 0,99, dando amplio cumplimiento al umbral empírico generalmente utilizado en estudios de esta índole de 0,90. La fórmula que permite establecer el Coeficiente del Incremento del Area (*CIA*) en función del Diámetro del Parche de Arena (*DPA*) resultante para un volumen de arena de 40 cm^3 , adoptando como válido el perfil dentado de la Figura 1d, es la que se observa en la Ecuación 4.

$$CIA = 5,03DPA^{-0,41} \quad (4)$$

Mediante este coeficiente puede calcularse la Dotación de Riego Incrementada (*DRI*), partiendo de una Dotación de Riego (*DR*) mediante la aplicación de la Ecuación 5.

$$DRI = CIA \cdot DR \quad (5)$$

Corroboración práctica del modelo

A manera de corroboración del modelo desarrollado, se decide analizar la existencia de una correlación entre los resultados alcanzados en forma teórica por simulación y los obtenibles en la práctica, al menos a nivel de laboratorio. Para ello se materializan probetas representativas de los 6 casos de fresado en análisis, que fueran volcados en la Tabla 4, y se aplica sobre las mismas la técnica de medición planteada, comparando los Diámetros del Parche de Arena obtenidos mediante esta técnica con los correspondientes a las simulaciones numéricas efectuadas.

Para la confección de las probetas, se procede a utilizar el equipo de compactación denominado Roller Compact, utilizado comúnmente para el moldeo de probetas de $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ ensayadas mediante el equipo de Wheel Tracking Test. Mediante este equipo se moldean las 6 probetas necesarias, empleando una mezcla asfáltica del tipo Concreto Asfáltico en Caliente Denso con Tamaño Máximo de 19 mm (CAC-D19). En la Figura 10 se observa una imagen tomada durante el moldeo de estas probetas.



Figura 10. Moldeo de probetas con Roller Compact

Fuente: elaboración propia

Para simular la aplicación del fresado en obra, se decide emplear un equipo de aserrado con hoja diamantada, que cuenta con los respectivos elementos de guía para posibilitar la realización de los cortes necesarios en forma paralela y con una profundidad controlada. Dicho equipo puede apreciarse en la Figura 11, aplicado sobre la probeta correspondiente al Caso 1. Si bien resulta evidente que el fresado a ser obtenido mediante este medio no resultaría exactamente igual al que se obtiene en obra, se considera que guarda características que lo asimilan en forma aceptable a los fines del estudio, resultando fácilmente reproducible en laboratorio y guardando una estrecha relación con el perfil de la Figura 1d utilizado en la simulación numérica ya descrita.



Figura 11. Simulación del fresado, probeta Caso 1

Fuente: elaboración propia

En la Figura 12, puede observarse el escaneo comparativo de dos secciones de probetas. La imagen superior proviene de un testigo extraído en obra luego del proceso de fresado. La imagen inferior proviene del escaneo de la sección lograda para el Caso 3, que se identifica como el correspondiente

a la situación real. Ambas imágenes se encuentran volcadas en una misma escala. Puede observarse en el análisis visual comparativo de ambas la notable similitud lograda con la técnica de simulación del fresado mediante aserrado.

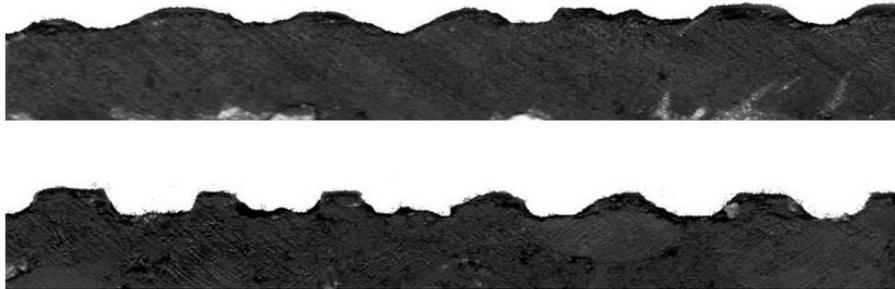


Figura 12. Perfil de fresado real versus simulación por aserrado

Fuente: elaboración propia

Trabajando de esta manera se obtienen las probetas correspondientes a los 6 casos de análisis de la Figura 13.



Figura 13. Relación de escala de los casos de simulación

Fuente: elaboración propia

Paso seguido, de acuerdo a lo indicado en la Norma IRAM 1850, se tamiza arena de río entre los tamices de abertura 315 μm y 160 μm (tamices N°50 y N°100 respectivamente) para obtener material de ensayo Tipo A, según la nomenclatura de la Norma citada. Con la arena obtenida y el pisón normalizado de ensayo se procede a realizar las determinaciones sobre las probetas materializadas.

En la Figura 14 se ve un detalle del pisón normalizado con su superficie de caucho (a la izquierda) y la preparación de los volúmenes de 40 cm³ de arena para la realización de los ensayos (a la derecha).



Figura 14. Detalle pisón normalizado (izq.) y preparación de volumen de ensayo (der.)

Fuente: elaboración propia

En la Figura 15 se observa a la izquierda el parche de arena obtenido para el Caso 1 y a la derecha para el Caso 6, como ejemplos de ambos extremos del análisis, observándose además la magnitud de los mismos.



Figura 15. Parche de Arena, probeta Caso 1 (izq.) y Caso 6 (der.)

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 6 se aprecian los resultados alcanzados de Diámetros de Parche de Arena en sentidos ortogonales, y su promedio señalado como DPA.

Tabla 6. Registro de Diámetros de Parche de Arena

Fuente: elaboración propia

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	13,0
5	11,5	11,7	11,6
6	10,2	10,1	10,2

Para facilitar el análisis comparativo de los resultados obtenidos, en la Figura 16 se ha volcado la nube de resultados de la simulación numérica, señalando con diferentes colores cada uno de los casos (Caso 1 en azul, Caso 2 en rojo, Caso 3 en verde, Caso 4 en violeta, Caso 5 en celeste y Caso 6 en naranja). A partir de estos colores se ha sombreado el área correspondiente a los límites entre un caso y otro, tomando la distancia media entre los puntos simulados límites para cada caso, tanto a la izquierda como a la derecha. Finalmente se vuelca con una línea de color en correspondencia, los resultados obtenidos en la Tabla 6 para cada caso. De este modo se puede observar cómo, si bien los resultados de Diámetro de Parche de Arena no coinciden exactamente con los entornos de los casos simulados numéricamente, sí se ubican de forma más o menos centrada dentro de los límites de las áreas sombreadadas, siguiendo el criterio señalado.

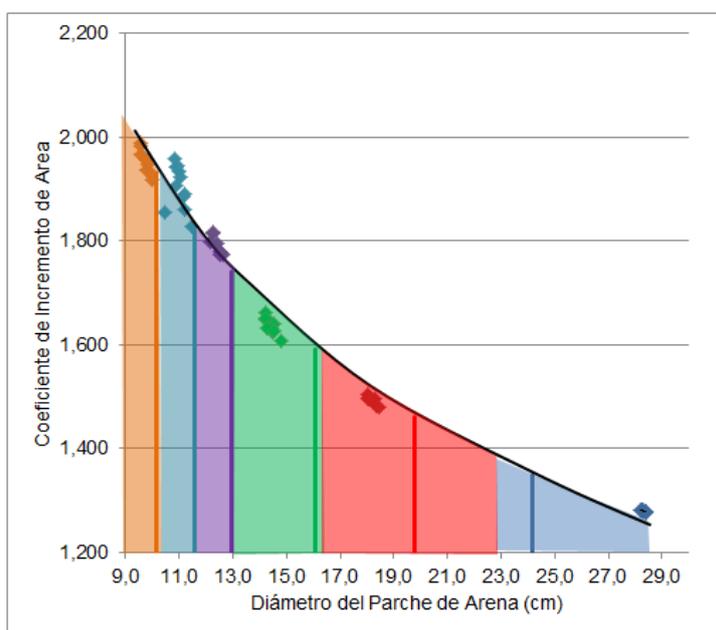


Figura 16. Análisis comparativo entre simulación numérica y de laboratorio

Fuente: elaboración propia

Lo señalado anteriormente, permite suponer un grado de certeza adecuado en el establecimiento de los incrementos en las dotaciones a ser utilizadas mediante el modelo desarrollado.

Conclusiones

A partir de todo lo expresado, puede concluirse que:

- Es habitual en el ámbito vial el empleo de la técnica de refuerzo de firmes flexibles que implica el fresado superficial de la capa asfáltica existente, previamente a la colocación de la capa asfáltica de refuerzo.
- La aplicación de esta técnica requiere la aplicación de un riego de liga asfáltico, para asegurar la adecuada solidaridad entre capas.
- Los dosajes de los riegos asfálticos de liga expresados en las especificaciones técnicas, se encuentran establecidos para la superficie lisa de las capas asfálticas que los reciben.
- Al existir el fresado, se genera un incremento de la superficie a ser regada, lo cual requiere en principio de un incremento proporcional del riego de liga asfáltico a aplicarse.
- Una forma de determinar ese Coeficiente del Incremento del Area (*CIA*) se logra al aplicar la metodología de análisis desarrollada, análoga a la del Ensayo de Parche de Arena, empleando un volumen de arena de 40 cm³ y obteniendo el Diámetro del Parche de Arena (*DPA*), utilizando la siguiente expresión:

$$CIA = 5,03DPA^{-0,41}$$

Mediante este coeficiente puede calcularse la Dotación de Riego Incrementada (*DRI*), partiendo de una Dotación de Riego (*DR*) mediante la expresión:

$$DRI = CIA.DR$$

Bibliografía

- [I] Espinoza, M., "Capas de refuerzo con hormigón adheridas como alternativa para la rehabilitación de pavimentos asfálticos", Revista Infraestructura Vial (ISSN 1409-4045), Universidad de Costa Rica, volumen 17, número 30, diciembre, Costa Rica, 2015.
- [II] Bolzán, P., "SHRP-2 Renovación de pavimentos", Revista Vial, ISSN 0329-1146, noviembre-diciembre, n° 112, pp 44-49, Argentina, 2016.
- [III] NCHRP, "Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures", National Research Board, 1-37A team, EEUU, 2004.
- [IV] Miller, J., Bellinger, W., "Distress identification manual for the long-term pavement performance program", fourth revised edition. Report No. FHWA-RD-03-031, Washington DC, EEUU, 2003.
- [V] Martínez-Echevarría, M. J., "Estudio de compactación en laboratorio para mezclas recicladas en frío con emulsión bituminosa", Tesis Doctoral, Universidad de Granada, España, 2012.
- [VI] Bonfim, V., "Fresado de pavimentos asfálticos", Editorial Exceção, primera edición, Brasil, 2008.
- [VII] THE ASPHALT CONTRACTOR, (2011), "How Micromilling is Saving States Money on Asphalt Road Repairs", The Asphalt Contractor Magazine, 30 de noviembre de 2011. [Consultado 12 de

diciembre de 2016 en: <http://www.forconstructionpros.com/article/10456001/how-micromilling-is-saving-states-money-on-asphalt-road-repairs>]

[VIII] WIRTGEN, "Wirtgen cold milling manual. Technology and application", Wirtgen GmbH, Alemania, 2013.

[IX] Montetrusque, M., Bernucci, L., Leite, F., Teoro Carmo, C. A., "Avaliação da adherencia de geogrelhas entre camadas asfálticas", Memorias XVIII Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, ISBN 978-950-630-031-9, Bariloche, Argentina, 2015.

[X] Bussard, M., "Milling & Micro Milling", P.R. Systems Inc., EE UU, 2014.

[XI] Yaacob, H., Hainin, M.R., Safuan, A., Chang, F.L., "Information for the malaysian asphalt industry towards better pavement interlayer bonding", Sains Malaysiana, n 43, vol 3, pp 467-474, Malasia, 2014.

[XII] Giovanón, O., Buono, F., "Riego de liga su importancia estructural y análisis tensional", XXXV Reunión del Asfalto, Comisión Permanente del Asfalto, Rosario, Argentina, 2008.

[XIII] Raab, C., Partl, M. N., "Interlayer shear performance: Experience with different pavement structures", 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress Vienna, Book 1, 535-545, Austria, 2004.

[XIV] Zhang, N., Zheng, N.X., Cong, Z.H., "Influencing factors on bonding layer performance effect between the ultra-thin surface", Functional Pavement Design (ISBN 978-1-138-02924-8), Proceedings of the 4° Chinese-European Workshop on Functional Pavement Design, CEW 2016, Netherlands, 2016.

[XV] IRAM, "Norma IRAM 1850: Agregados. Método de determinación de la profundidad de la macrotextura superficial de un pavimento mediante el círculo de arena", Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Argentina, 1997.