

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE ALTO DESEMPEÑO

Ignacio Kröger¹, Santiago Kröger²

¹ Grupo Bitafal, Victoria de Carrasco 2058, Canelones, Uruguay, ignacio@bitafal.com.uy

² Grupo Bitafal, Victoria de Carrasco 2058, Canelones, Uruguay, santiago@bitafal.com.uy

Resumen

El objetivo de este trabajo es presentar el libro “Tratamientos Superficiales de Alto Desempeño”, un texto de apoyo a las herramientas vigentes para ejecución y control de los tratamientos bituminosos como puede ser el Pliego de Vialidad y sus respectivas modificaciones u otros Pliegos disponibles regionalmente. La base bibliográfica utilizada para el manual es muy amplia y engloba la experiencia de países como Nueva Zelanda, Australia, Sudáfrica, Reino Unido, EEUU, Brasil, Argentina y España. De ellos se han compilado las mejores prácticas y las herramientas más valiosas. Además se ha complementado con la experiencia local tanto en el diseño de productos como en las formas de ejecución de los tratamientos superficiales, introduciendo prácticas novedosas para el entorno regional.

El libro inicia con una introducción general a la tecnología de los tratamientos superficiales bituminosos, donde se detalla cada una de las técnicas que se incluirán en el manual y donde se comentarán las piedras fundamentales para el éxito de la aplicación. Luego es seguido por la exposición de los materiales usados en tratamientos, las características que deben cumplir y los ensayos que deber realizarse para obtener mejores resultados finales. A ello le siguen pautas para evaluar la superficie existente completado por una guía para la selección del tratamiento más adecuado, ya sea un tratamiento primario o un tratamiento sobre una superficie ya pavimentada (retratamiento).

A continuación, se comentan las condiciones preferibles para la preparación de las bases y los criterios de habilitación/ no habilitación de una superficie previo a la aplicación de cualquier tratamiento. Luego, en el corazón mismo del manual, se presenta el capítulo sobre el diseño de tratamientos superficiales, donde se enseñan los diversos métodos presentes en el mundo y las herramientas para elaborar diseños precisos que responden a la importancia y economía del proyecto. Por último se exhiben los equipos más comunes, se explican los procedimientos de calibración y las mejores prácticas constructivas, que culmina con el detalle de las posibles fallas prematuras, sus causas y soluciones. El manual se complementa con varios anexos que incluyen nuevas técnicas de ensayo, técnicas para el cálculo de las temperaturas superficiales de pavimentos, así como diversos ejemplos de cálculo de dosificaciones.

El resultado final del proyecto es un libro cuyo contenido está presentado en un formato ameno, con fotografías, diagramas de flujo y tablas, y en un lenguaje sencillo para que sea una herramienta de consulta práctica y habitual. En este trabajo resumimos las principales características del libro y nos centramos en detallar los contenidos novedosos para la región, por su formato y por su contenido, y que sirve de guía tanto para recién iniciados en el rubro como para tomadores de decisiones.

Palabras Clave: Tratamientos Superficiales, Riegos con Gravilla, Microaglomerados, Técnicas de Conservación.

1 Introducción

1.1 Antecedentes

El manual “Tratamientos Superficiales de Alto Desempeño” es un compilado de más de 80 años de experiencia internacional y 20 años de experiencia local, donde están traducidos y adaptados los conocimientos de los actores más relevantes del mundo de los tratamientos superficiales. La experiencia está fundada por la práctica y la investigación, y respaldada por los referentes en el área de cada país.

Los países que hoy son pioneros de esta tecnología, como Nueva Zelanda, Australia, Sudáfrica, Reino Unido y Francia, han pasado inexcusablemente por un período de transición que transformó el “arte” del gravillado en la forma tecnológica presente hoy. Esto ha permitido cambiar el paradigma de esta técnica de un sistema de resultados variables a uno de resultados predecibles, donde los ajustes subjetivos de un personal experimentado han mutado a ajustes objetivos de un personal más flexible.

Uruguay posee ventajas notables frente a otros países para aplicar esta tecnología. En primer lugar, nuestro clima noble nos permite ejecutar tratamientos superficiales en gran parte del año. Luego, nuestro terreno levemente ondulado sin demasiados accidentes nos facilita la ejecución, a diferencia de Nueva Zelanda por ejemplo (como tantos otros países), que debe luchar con estos inconvenientes diariamente. Por último, el tránsito que circula por nuestra Red Vial es significativo en las principales rutas primarias del país y corredores internacionales, pero luego es de moderado a bajo para la mayor parte del país.

Adicionalmente, la popularidad e importancia que han adquirido los equipos de estabilizado y reciclado en el país han impulsado el crecimiento de los tratamientos, debido a la sinergia que desarrollan ambas tecnologías. Los estabilizados proporcionan una base resistente a las cargas y al clima que es ideal para apoyar un tratamiento superficial, mientras que estos últimos son la superficie impermeable y de desgaste más económica y segura que los primeros requieren.

Debido a todo esto es que se cree que el libro se presenta en un momento muy oportuno de la vialidad uruguaya y pretende expresar de manera clara y sencilla los consejos para tomar una decisión formada respecto a la selección, diseño y construcción de un tratamiento superficial, con el objetivo de actualizar nuestro sistema vial y recuperar el oficio de una tecnología que es económica, duradera y que ofrece grandes resultados.

1.2 Nomenclatura utilizada

Una de las novedades que presenta el manual es la unificación de nomenclaturas para referirnos a los tratamientos. Con el enfoque del principio de ciclo de vida del pavimento, los tratamientos se clasifican entre primarios (o iniciales), secundarios y retratamientos, como se aprecia en la Figura 1. Un tratamiento primario es la aplicación de una imprimación (que puede ser común o reforzada) sobre una base

preparada, la que es seguida por un tratamiento superficial. Un tratamiento secundario es simplemente el tratamiento sucesivo al tratamiento primario y por último los retratamientos es la forma generalizada de llamar a las aplicaciones posteriores sobre cualquier superficie asfáltica (como se verá más adelante que existen algunas técnicas que se aplican directamente sobre carpetas asfálticas).

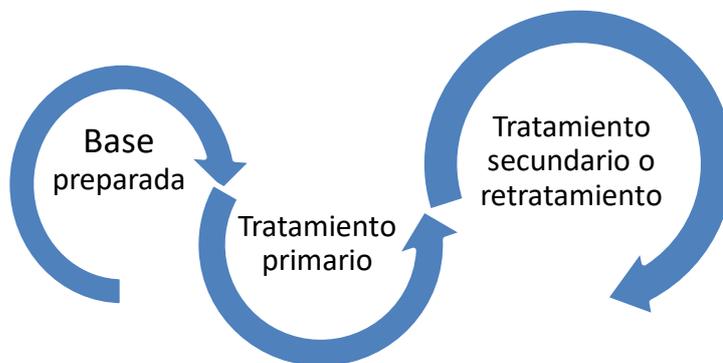


Figura 1. Esquema de un típico ciclo de vida de un pavimento que utilice tratamientos superficiales.

1.3 Piedras fundamentales para el éxito del tratamiento

Un tratamiento superficial es una técnica de relativa sencillez, aunque para que su aplicación sea considerada aceptable se deben cumplir una serie de condiciones. En primer lugar y quizá como factor más importante, el estado de la base debe estar en buenas condiciones de estabilidad estructural y su superficie debe ser homogénea y uniforme. La manera de evaluarlo es mediante un sencillo ensayo que se propone denominado “penetración de bola”, que será comentado más adelante. Precisamente las bases estabilizadas con cemento cumplen en gran medida con este ensayo, lo que garantiza la calidad de la base.

En segundo lugar, debe definirse con la mayor precisión el tránsito de diseño en términos de volumen y distribución de pesados principalmente. Si bien el tratamiento superficial no aporta estructuralmente al paquete del pavimento, se debe considerar el tipo y cantidad de vehículos que circularán en determinado período de diseño a efectos de evaluar la progresión de pérdida de vacíos en el sistema. En conjunto con esto, debe evaluarse apropiadamente la condición superficial existente del pavimento (macrotextura, fisuras, ahuellamientos, pozos, desprendimientos) pues influirá en el diseño de dosificación final.

Luego, la selección apropiada de piedra y ligante determinará la calidad final del trabajo, en conjunción con una correcta práctica constructiva. En este sentido, la determinación precisa del tamaño de la piedra, en particular el cálculo de su ALD (o tamaño mínimo promedio como se profundizará más adelante) asegurará que la dosificación sea la correcta y proporcionada para el tránsito en cuestión y definirá asimismo la dosis de ligante asfáltico requerido.

1.4 Objetivos del tratamiento superficial

Los objetivos y funciones de un tratamiento superficial están resumidas en la Figura 2.



Figura 2. Objetivos de un tratamiento superficial.

2 Desarrollo

2.1 Experiencia en Nueva Zelanda

En Nueva Zelanda, el 96% de la red vial pavimentada (unos 63.000 km) está cubierta por tratamientos superficiales. Los motivos que explican porque esta técnica es la más aplicada y tiene tanto éxito, se detallan a partir de la Figura 3.

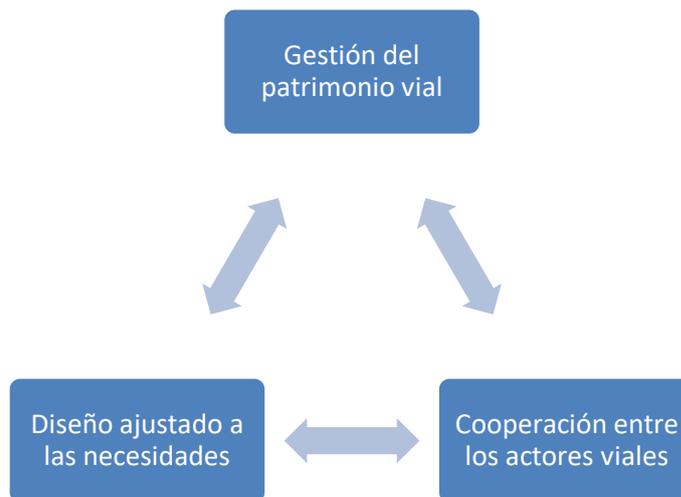


Figura 3. Claves del éxito de los tratamientos superficiales en Nueva Zelanda.

En primer lugar, la conservación de la red vial se debe a la incorporación a los finales de los 80, de un sistema informático denominado RAMM (Road Asset Maintenance Management System), similar al HDM-4, pero centrado a los tratamientos superficiales. La decisión sobre aplicar o no un gravillado, y en caso de hacerlo, que tipo se selecciona, está basado en decisiones técnicas y económicas del programa. Estas prácticas ingenieriles, financieras y de gestión optimizan los niveles de servicio al costo de las opciones más eficientes.

Seguidamente, el diseño de dosificaciones se realiza a través de un manual llamado "Chipsealing in New Zealand", donde se detalla la planificación, el diseño y la construcción de los tratamientos, en conjunto con la descripción de los materiales más acordes, los equipamientos necesarios para su ejecución y las operaciones de calibración de dichos equipos. Este documento permite unificar criterios y se enfoca en optimizar los materiales para que se ajusten a las necesidades del proyecto.

Por último, la gran cooperación que existe entre la administración pública y los contratistas y proveedores privados ha permitido además de publicar el manual antes mencionado, generar contratos por desempeño donde los contratistas son mayoritariamente responsables de las obras, estimulando a la innovación por nuevas y mejores técnicas, con contratos menos restrictivos y en definitiva con mejoras en la calidad final de los proyectos.

2.2 Adaptación de Uruguay

En Uruguay, al igual que en Nueva Zelanda, los principales sectores son el agropecuario y forestal, aunque con una diferencia sustancial en la cantidad de toneladas transportadas. Por ejemplo, en forestación los neozelandeses extraen unos 28,7 millones de m³ anuales de madera contra 14 millones que se extraen en nuestro país. En lechería, se extraen unos 21,3 billones de litros en un año en comparación con unos 2 billones nuestros y con respecto a la producción de carne bovina ellos totalizan unas 674.000 toneladas anuales versus unas 400.000 toneladas nuestras. En la única categoría que Uruguay supera a Nueva Zelanda es en la agricultura, totalizando 4 millones de toneladas anuales contra 1 millón del país

oceánico. Esta elevada actividad circula en una red vial predominada por los tratamientos superficiales, en camiones que pueden superar los 9 ejes (62 toneladas de peso máximo).

Ambos países presentan similitudes en cuestiones como superficie explotable, clima, población y sectores productivos. Sin embargo, los neozelandeses han sabido explotar su amplia red vial lo que ha permitido, entre otras razones, triplicar nuestro PBI y quintuplicar las exportaciones. Aún así, Uruguay cuenta con una red vial muy amplia de unos 77.731 km, pero de los cuales solamente 8.000 están pavimentados. Asimismo, el tránsito que circula por esta red es mayoritariamente de medio a bajo, como se observa en la Figura 4, por lo que un tratamiento superficial sería la opción más económica para prácticamente la totalidad del territorio.

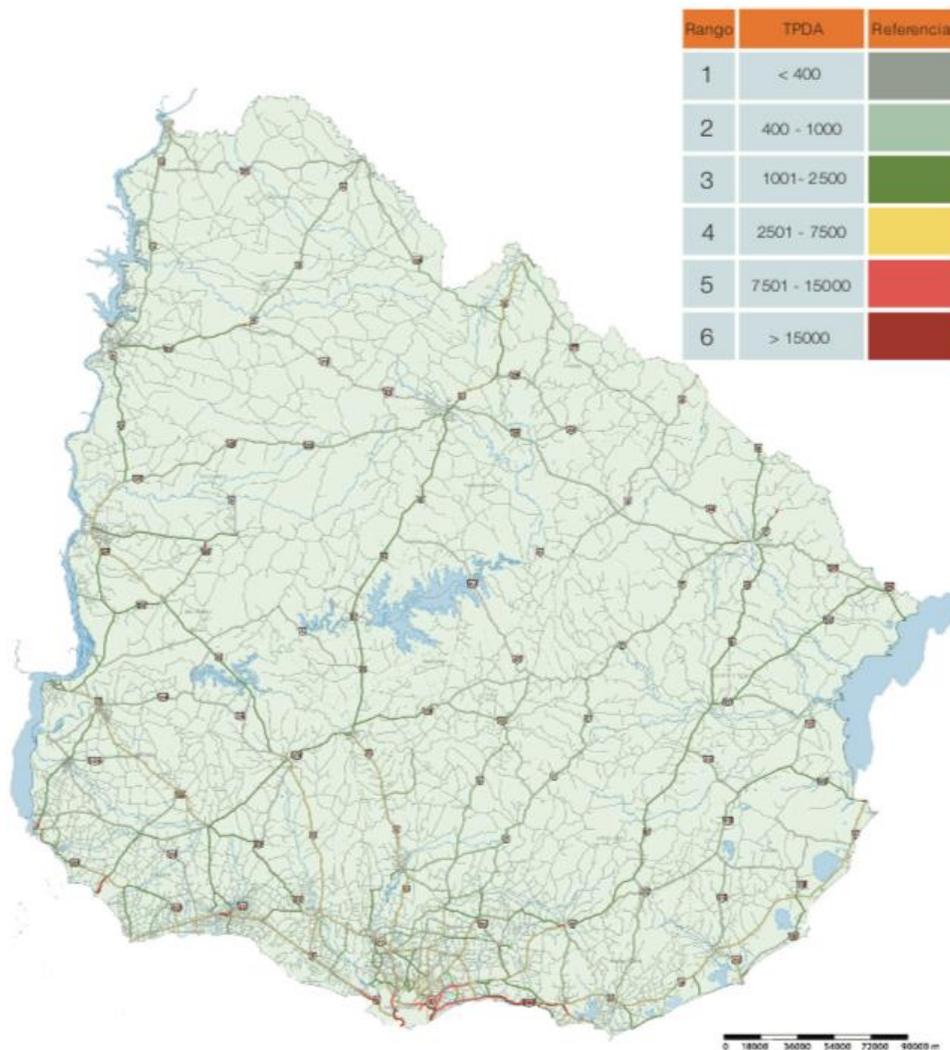


Figura 4. Tránsito promedio diario anual (TPDA) de la red vial, con la categorización de tránsito según el MTOP, año 2017.

2.3 Contenido general del manual

El manual, también referido como el “Libro” a partir de ahora, está dividido en ocho capítulos, en el cual cada uno describe una etapa particular de la tecnología de los tratamientos superficiales:

- *Capítulo 1: Evolución de los gravillados.*

El primer capítulo comenta en términos generales la evolución desde los primeros macadams asfálticos a las técnicas más modernas, repasando el desarrollo de los ligantes, las mejoras en los equipos y el avance en las metodologías de implementación.

- *Capítulo 2: Introducción a los tratamientos superficiales.*

Luego en el Capítulo 2, se introduce la terminología básica de caminería y la nomenclatura que será utilizada a lo largo del manual, donde se presentan además los 10 tipos de tratamientos superficiales utilizados en el Uruguay, comentando muy brevemente las situaciones donde se utiliza cada uno, sus ventajas y limitaciones. Los tratamientos aquí presentados son en su mayoría tomados de la experiencia australiana y neozelandesa. También se presentan los novedosos tratamientos múltiples trabados, tecnología patentada por Bitafal en EEUU y en Uruguay.

- *Capítulo 3: Materiales del gravillado.*

Más adelante en el Capítulo 3 se comentan las características que deben cumplir los materiales de un tratamiento (principalmente los áridos y la emulsión) y las especificaciones vigentes de otros países, sugiriendo además ciertas normativas para nuestro país. En este capítulo se destaca el concepto del ALD, o tamaño mínimo promedio de una piedra, como aquella dimensión que se orienta verticalmente cuando la piedra es tendida en su posición más estable, que define en gran medida la dosificación de áridos y ligante. Asimismo, se explica el comportamiento de una emulsión, sus ventajas frente a los diluidos, su transporte, almacenamiento y ciertas recomendaciones para un correcto manejo. Por último, se presenta la idea de emulsiones clasificadas por su desempeño real en campo (especificaciones por EPG: *Emulsion Performance Grade*).

- *Capítulo 4: Selección de tratamientos*

En el Capítulo 4 se presentan las diferentes formas de seleccionar tratamientos superficiales según tráfico, capacidad de mantenimiento, criterios de seguridad vial, condición de la superficie y clima. Se espera que el lector pueda, con la información que tenga disponible, seleccionar el mejor tipo de tratamiento, de árido y ligante para lograr la mayor vida útil.

- *Capítulo 5: Preparación de la superficie.*

La vida útil de un tratamiento depende fundamentalmente de la calidad de la superficie sobre la cual estará apoyado. Para ello, en el Capítulo 5 se profundiza en la calidad necesaria de la base y de las diferentes reparaciones previas necesarias para aplicar el tratamiento. Incluye la importancia del uso de estabilizados y reciclados con ligantes y la sinergia que logran junto con los tratamientos para lograr pavimentos de alta calidad.

- *Capítulo 6: Diseño.*

Un punto fundamental para el correcto desempeño del tratamiento es la adecuada proporción entre los materiales considerando todas las variables en juego como el tráfico, la calidad de la superficie, tipo de tratamiento y de material. Se presentan 3 niveles de diseño que van incrementando su complejidad según la información

disponible y por ende la calidad esperada. En el Nivel 1, se puede realizar el diseño de forma empírica a través del método experimental directo, o ensayo de bandeja, donde se esparce el árido sobre una placa de área conocida, buscando replicar el mosaico que se desea obtener en campo. Luego, según el Nivel 2, el diseño se puede realizar en base a tablas, considerando además de información de los áridos, variables como la superficie y el tráfico. Por último, el Nivel 3 apunta a un diseño racional donde cada paso requiere de información medida en campo o laboratorio. Esta última metodología se hace tomando todos los fundamentos teóricos y prácticos de Australia, denominado método Austroads, que será profundizado más adelante.

- *Capítulo 7: Construcción y buenas prácticas.*

Una vez seleccionado el tipo de tratamiento y los materiales así como pronta la superficie, procedemos a la ejecución según el diseño realizado. En el Capítulo 7 se presentan los equipos necesarios, las mejores prácticas para cada etapa de la ejecución de los diferentes tratamientos así como guías para la correcta calibración de los equipos.

- *Capítulo 8: Fallas y reparaciones.*

Como en cualquier actividad, pueden existir fallas prematuras y es necesario saber identificarlas para solucionar el problema detectado así como para evitar que suceda en el futuro. En este Capítulo 8 se presentan las fallas más habituales de los tratamientos así como las diferentes alternativas para reparaciones localizadas o en ancho entero de calzada.

- *Anexos*

Por último, el libro contiene anexos con procedimientos de ensayos novedosos, cálculo de temperaturas máximas de pavimentos, detalle de las especificaciones por EPG, fotografías de la calidad esperada de bases y ejemplos de cálculo de diseño.

2.4 Novedades del manual

El documento incluye conceptos novedosos como la reivindicación del concepto de tamaño mínimo promedio (ALD) para el diseño de los tratamientos, el ensayo de penetración de bola para evaluar el potencial de penetración de la piedra en una base, tablas para la selección de tratamientos y las emulsiones clasificadas por desempeño (EPG).

2.4.1 *Tamaño mínimo promedio (ALD)*

El concepto del ALD forma parte de la sección V del Pliego de Condiciones para la Construcción de Puentes y Carreteras de la Dirección Nacional de Vialidad, donde se destaca que: *“la dosificación del ligante y de los agregados a emplear se deberá ceñir a las directivas de un método basado en la **menor dimensión promedio de las partículas del agregado**”*. Ahora, si bien el enfoque del diseño volumétrico estaba presente al elaborar el Pliego, no se especifica ningún método en particular. El manual complementa lo especificado en el Pliego y sirve para enriquecer y progresar sobre la línea establecida por éste.

Como se comentó anteriormente, la mínima dimensión es aquella que se orienta verticalmente cuando la piedra es tendida en su posición más estable. Este fenómeno ocurre naturalmente durante la ejecución del tratamiento, siempre y

cuando exista suficiente espacio para el reacondo de la piedra. El ALD es uno de los parámetros de entrada fundamentales del método Austroads, pues define tanto la dosificación de áridos como la de ligante, y dará un estimado del espesor que tendrá el tratamiento luego de 2 años en servicio. Debido a la importancia que posee, la medida de este parámetro es imprescindible y se puede obtener mediante un calibrador Vernier, un reloj comparador o una bandeja ranurada, procedimientos detallados en el Apéndice B del Libro.

2.4.2 Ensayo de penetración de bola

En los tratamientos primarios (aplicados sobre bases), el hundimiento del árido en la superficie ocurre siempre, en menor o mayor medida. El grado de penetración dependerá del material de base, su humedad, compactación y también del tráfico que circulará sobre el tratamiento. No tener en cuenta este factor puede provocar exudados en poco tiempo, particularmente en las huellas. La explicación del fenómeno es intuitiva: la presión de los neumáticos hunde la piedra en una base que se lo permite, suprimiendo el contenido de vacíos que le debería corresponder al sistema para lograr una macrotextura aceptable.

Para alinearse a los países vanguardistas en esta tecnología se propone la utilización del ensayo de penetración de bola (Apéndice D) para medir cuantitativamente el potencial de penetración de un árido en la base. Los valores obtenidos del ensayo luego son utilizados como elementos de entrada para los ajustes que deben realizarse sobre la tasa de aplicación de ligante asfáltico en el método Austroads. Por ejemplo, para tratamientos iniciales, el ajuste por penetración en el sustrato A_p compensa la pérdida de vacíos que se genera cuando la piedra es incrustada en la superficie del sustrato, que se puede obtener de la Figura 5.

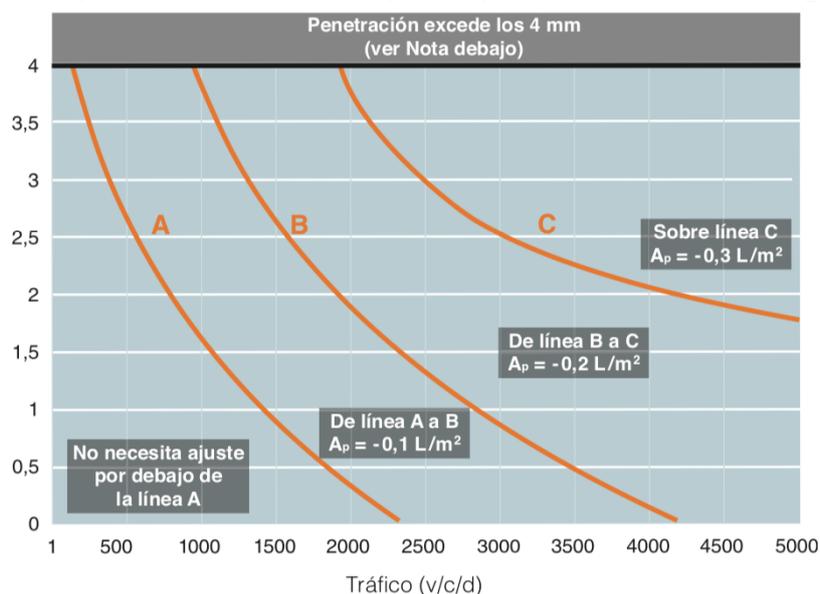


Figura 5. Ajuste por penetración del árido en el sustrato. Paso 5B del método Austroads.

En una prueba de campo se evaluó de manera preliminar como varía la penetración con diferentes superficies, como por ejemplo, toscas, toscas

imprimadas, toscas cemento con diferentes tiempos de curado e imprimadas y mezclas asfálticas (pues debe tenerse en cuenta el efecto de la penetración en parches recientes de gran extensión en caso de aplicar un tratamiento por encima). Los resultados se pueden apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de penetración (mm) sobre diversas superficies.

Mezcla asf.	TC 12d	TC 12d imp.	TC 7d	TC 7d imp.	TC 48hs	TC 24hs	Espumado	Tosca	Tosca imp.
0,72	2,94	3,40	2,68	3,07	3,26	6,23	2,56	5,50	5,25

TC: Tosca cemento; imp.: imprimada; d: días; hs: horas.

Como se puede observar, la tosca cemento a las 24 horas es la que presentó peor valor debido fundamentalmente a dos motivos: primero la alta humedad de la superficie en el momento de la prueba (a primera hora de la mañana), y segundo, el alto contenido de polvo superficial, como se evidencia en la Figura 6 (izquierda). Una de las conclusiones más relevantes es la mejora en los valores de penetración que le genera la incorporación de cemento a las bases. La tosca presenta valores que exceden los 4 mm, como se ve en la Figura 6 (derecha), lo cual es el límite práctico que establecen los australianos. Para valores superiores a 4 mm, pero menores a 6 mm, se sugiere tratar la base (esperar a que se reduzca la humedad, recompactar, estabilizar, colocar un tratamiento de armadura, etc.). Por encima de 6 mm comenzar la ejecución del tratamiento puede significar un riesgo de falla elevado.



Figura 6. Ensayo de penetración en tosca cemento de 24 horas(izquierda) y tosca (derecha).

Asimismo, se nota el aumento de penetración que le produce la imprimación en las toscas cemento. Se podría estimar que la causa de esto es que la capa impermeable de asfalto acumula humedad por debajo de ella, lo que en definitiva ablanda la capa más superficial.

Otra de las conclusiones obtenidas de la prueba es la evidente mejora de la dureza de la tosca cemento con en tiempo, presentando mejores valores de penetración a las 48 horas y 7 días (los valores a los 12 días no son concluyentes, pero se podría estimar que está causado por algún problema constructivo en esa zona). En la misma línea, el espumado (con unos 6 meses de ejecutado) presentó valores muy aceptables y la mezcla asfáltica (de 6 días) fue la que registró los valores más bajos de todos (ver Figura 7).



Figura 7. Ensayo de penetración en asfalto espumado (izquierda) y mezcla asfáltica (derecha).

2.4.3 *Tabla de selección de tratamientos*

Otra de las novedades que presenta el manual es una guía para la selección de tratamientos primarios y retratamientos. En el caso de los primeros, se ingresa a una tabla a partir de la información de volumen de tránsito (en v/c/d), porcentaje de pesados, condiciones climáticas particulares de la zona donde será ejecutada la obra y exigencias del tratamiento (ver Figura 8). La temperatura estacional promedio a la que estará sujeto el pavimento durante la ejecución y semanas posteriores (Apendice J) definirá el grado de dureza que debe seleccionarse para el asfalto base.

Volumen de tráfico (v/c/d)		≤ 200				201 - 750			
Vehículos pesados (%)		< 15	15 - 25	26 - 45	> 45	< 15	15 - 25	26 - 45	> 45
Temperatura*									
Carreteras primarias, secundarias o terciarias. Sin áreas de esfuerzos horizontales elevados.	Alta	AP TS	TS	TD	TS	TD	TS	TD	TS
	Media			TS					
	Baja			TS	TS	TS			
Áreas de altos esfuerzos horizontales: curvas cerradas, rotondas, intersecciones, carriles de giro, etc.		TD		TD	TD	TD	TD	TD	TD
Pendientes > 5%		TS	TD			TS			TD

* Las categorías de temperatura se refieren a la temperatura superficial del pavimento como indica el Apéndice J, dentro de las cuales debe seleccionarse la dureza del asfalto base de la emulsión.

Figura 8. Guía preliminar para la selección de tratamientos primarios.

La tabla indica tratamientos simples y dobles pero también se dan correlaciones para capeseal, tratamientos múltiples trabados y otras técnicas mencionadas en el Libro. Asimismo el código de colores de la tabla indica el grado de modificación que deben tener las emulsiones para obtener un mejor desempeño.

Para el caso de los retratamientos la situación de aplicación por lo general es para resolver un problema funcional por lo que la selección tiene otros datos de entrada. La Figura 9 permite evaluar cual retratamiento otorga los mejores resultados para un fin buscado.

Propiedad que requiere una mejora	RN	TS TST	TD TDT	CHIP	GEO FIBER	MICRO	CAPE	SAMI + recapado MA*
Envejecimiento y oxidación del asfalto	Retrasa la oxidación o envejecimiento							
Regularidad superficial	Sin efecto					Adecuado para irregularidades menores.		Muy buena
Capacidad de impermeabilizar	Mínimo	Bueno	Muy bueno	Excelente		Muy bueno	Excelente	
Resistencia al deslizamiento	Sin efecto	Excelente			Muy bueno		Excelente	Según la MA
Aporte estructural	Sin efecto							Según la MA
Robustez (relacionado al giro del tráfico)	Sin efecto	Regular **	Bueno **		Bueno	Muy bueno		Según la MA
Reducción de efecto spray	Sin efecto	Bueno a muy bueno, según piedra seleccionada				Mínimo	Regular	Según la MA
Flexibilidad	Muy buena					Buena		Según la MA
Posibilidad de corregir depresiones o huellas	Sin efecto		Pobre	Buena	Pobre	Buena		Muy buena
Reflejo de fisuras	Sin efecto	Bueno		Muy bueno	Excelente	Pobre	Muy bueno	Excelente
Resellado por tráfico en verano	Mínimo	Bueno		Muy bueno	Muy bueno	Pobre	Mínimo	Sin efecto
Vida estimada del tratamiento (años)	1 - 3	5 - 15	8 - 15	5 - 10	8 - 15	5 - 10		5 - 12
* Mezcla asfáltica. ** Mejora con emulsiones modificadas.								

Figura 9. Efectos que tienen los retratamientos sobre las propiedades que requieren mejora.

2.4.4 Emulsiones por EPG

El sistema de calificación por desempeño SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavements) de Estados Unidos clasifica a los ligantes en un rango de temperaturas a los cuales se desempeñaran en campo. El sistema clásico de PG para asfaltos que serán utilizados en mezcla asfáltica utiliza la temperatura máxima anual promedio (durante 7 días) y mínima del aire y con ello calcula la temperatura del pavimento a una profundidad de 20 mm. En el caso del Emulsion Performance Grade, donde las temperaturas del pavimento son superficiales, se aumenta el grado PG en 3 °C. Para el Uruguay, las emulsiones deberían cumplir con un EPG 67-7 para el norte y EPG 61-7 para el sur con un 98% de confiabilidad, como se observa en la Figura 10. A partir de esta información se deberían atender a las especificaciones propuestas en el Apéndice H, donde se dirige especialmente a controlar el comportamiento de las emulsiones a la exudación y al ahuellamiento a altas temperaturas, y a la fisuración y pérdida de piedra a bajas temperaturas.

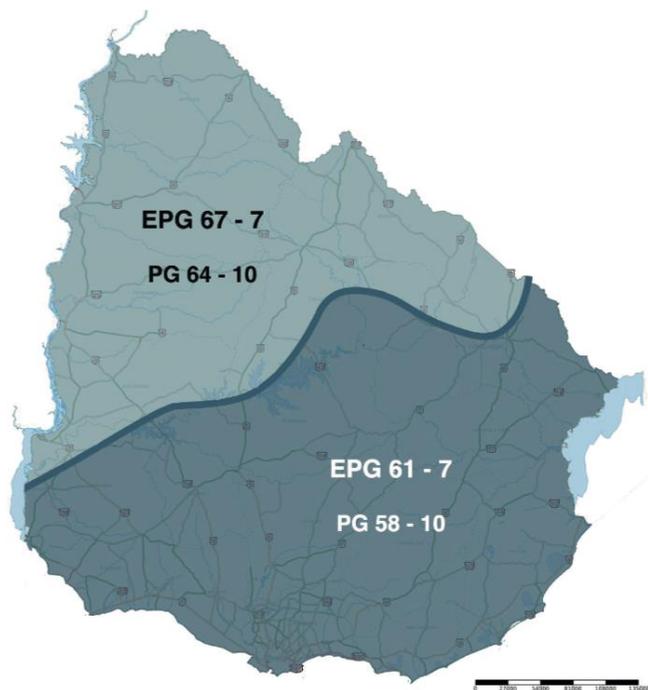


Figura 10. Clasificación de las emulsiones por grado EPG para la zona norte y sur del país.

2.5 Aplicación del diseño a un caso real en Uruguay

Para poder profundizar en los conceptos de cada capítulo, se guiará al lector al procedimiento completo de diseño de un tratamiento superficial, aplicado a una obra real para la cual el cliente solicitó asistencia. El tramo en cuestión es Ruta 7, kilómetro 220, del cual el cliente ya había definido la elección de un tratamiento doble sobre un estabilizado con cemento. Se procedió a dosificar según el método experimental directo y método Austroads.

2.5.1 *Diseño por método experimental directo*

Se realizó una dosificación sobre una placa de 20 x 20 cm de los áridos suministrados de la obra, siendo el Riego A la piedra gruesa, y Riego B la fina. Se acomodaron los áridos hasta lograr la matriz deseada visualmente, cubicando el volumen de esa matriz mediante un recipiente aforado. Luego se utilizó la regla del octavo para determinar la dosis de ligante residual y se calculó la dosis de emulsión con un residuo promedio de 66%. Los resultados de las dosificaciones se observan en la Tabla 2. Este método es aproximado y se realiza sobre una porción muy pequeña de muestra, además de no considerar los efectos del tráfico, la dimensión de la piedra y las lajas.

Tabla 2. Dosificación por método experimental directo.

METODO EXPERIMENTAL DIRECTO				
	Dotación de áridos (L/m ²)		Dotación de emulsión (L/m ²)	
Tipo de tratamiento	Riego A	Riego B	Riego A	Riego B
Dosificaciones finales TD 25/14	12	6	2,3	1,1

2.5.2 Diseño por Austroads

En primer lugar se definió con precisión el volumen de tránsito de dicho tramo y el porcentaje de vehículos pesados, dos elementos de entrada fundamentales para el diseño según Austroads. En la Figura 11 a continuación se pueden observar los valores obtenidos del Geoportal del MTOP, del año 2017. El tránsito de vehículos por carril por día (v/c/d) se determina como la mitad del tránsito promedio diario anual (TPDA), debido a que la distribución por sentido es exactamente 50 %. El valor de tránsito considerado es entonces $543/2 = 272$ v/c/d. El tránsito de pesados son aquellos que superan las 3,5 toneladas de peso y se calcula sumando todas las categorías menos la de “autos”. En el ejemplo, el porcentaje de pesados es $100 \cdot (147/543) = 32\%$.

Información												
Tránsito promedio diario anual por tramos (2017)												
Ruta	Progresiva Inicio (Km)	Progresiva Fin (Km)	TPDA	Autos	Omnibus	Camiones Medianos	Camiones Semi-pesados	Camiones Pesados	Total Camiones	Distribución por sentido(%)	Asignación	
7	204.00	231.50	543	369	21	98	12	43	153	50	Directo	

Figura 11. Información del tránsito del Geoportal para el tramo del estudio.

Si bien la selección del tratamiento se realizó a juicio del cliente, a partir de esta información de tránsito se podría ingresar a la Tabla 4.7 del Libro, para seleccionar el tratamiento primario más adecuado, como se observa en la Figura 8. En la Tabla J2 del Apéndice J del Libro aparecen las temperaturas máximas del pavimento en superficie a partir de las temperaturas máximas del aire. La temperatura del pavimento se considera como media, pues la obra se encuentra prácticamente a la latitud de la ciudad de Treinta y Tres, que registra temperaturas máximas de pavimento de 53 °C. En la Figura 8, ingresando en la temperatura “media” y el porcentaje de pesados (32%) de la categoría de 201-750 v/c/d, se obtiene que un tratamiento simple puede ser suficiente como medida preliminar. Luego entran en consideración otros factores como por ejemplo la capacidad de mantenimiento que tendrá la obra o la necesidad de tratamientos más robustos, como decidió finalmente el cliente.

A continuación se procede al ensayo de la granulometría de cada uno de los áridos, contenido de polvo (pasa N° 200), índice de lajas, y ALD (tamaño mínimo promedio). El ALD se obtiene de acuerdo al procedimiento detallado en el Apéndice

B del Libro y mediante una bandeja ranurada como la que se muestra en la Figura 12. Los resultados de estos ensayos aparecen en la Tabla 3 y 4.



Figura 12. Bandeja ranurada para calcular el ALD de una muestra de áridos.

Tabla 3. Granulometría de los áridos para el tratamiento doble.

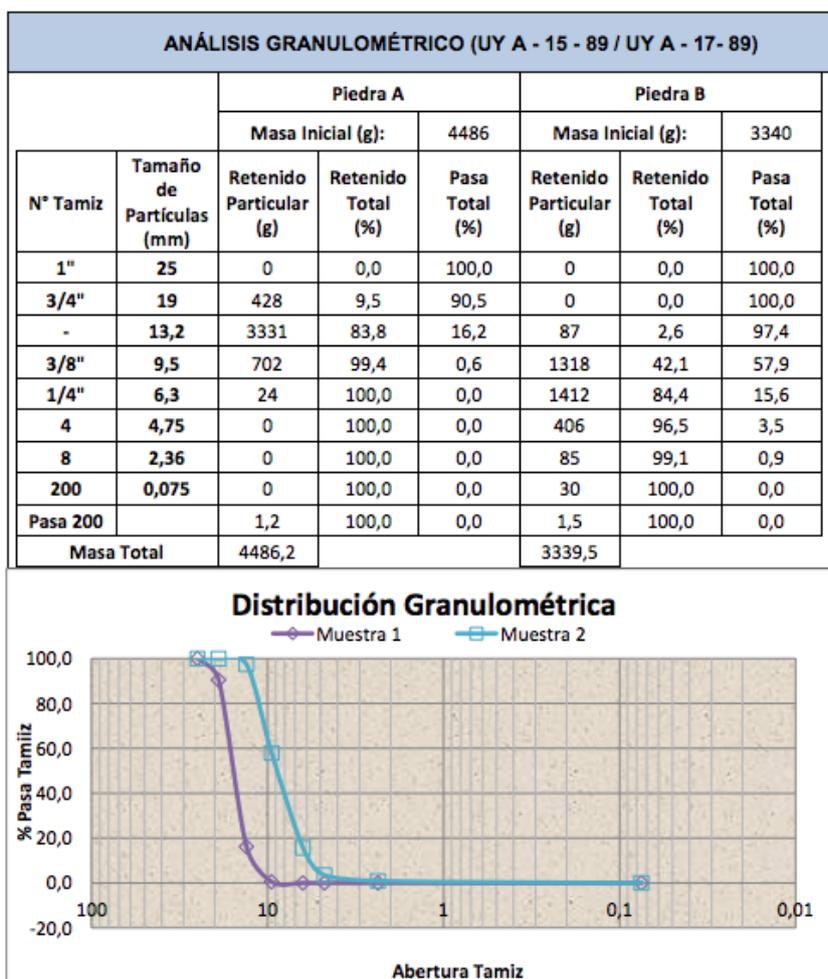


Tabla 4. Tamaño máximo nominal, índice de lajas y ALD de ambas piedras.

	TMN	INDICE DE LAJAS	ALD
PIEDRA A	25 mm	IL=18%	11,6 mm
PIEDRA B	14 mm	IL=16%	5,9 mm

A partir de estos datos se procede al diseño de dosificaciones según el método Austroads, siguiendo los pasos de la Figura 13. Se recomienda elaborar una planilla de Excel para ir adicionando los valores que se obtienen de las tablas y gráficas del Libro, e ingresar las operaciones matemáticas para que automáticamente calcule las dosificaciones de árido y emulsión. La planilla utilizada se puede observar en la Tabla 5.

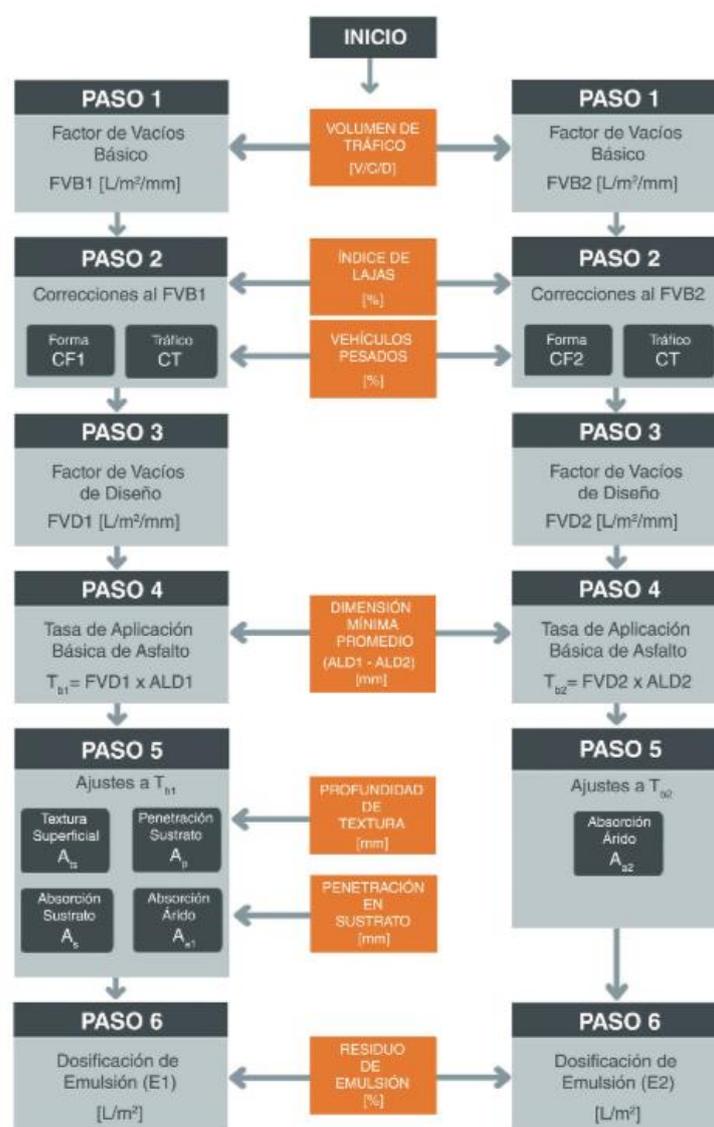


Figura 13. Procedimiento de obtención de dosificación de áridos y emulsión por método Austroads.

Tabla 5. Dosificación de áridos y emulsión según método Austroads.

DOSIFICACIÓN AUSTRROADS				
Atributo	Símbolo	Unidad	Riego A (25 mm)	Riego B (14 mm)
Tráfico	–	TPDA	543	543
Tráfico de diseño	–	v/c/d	272	272
Factor Vacíos Básico	FVB	–	0.15	0.19
Ajustes:				
Forma del árido	CF	L/m ² /mm	0	0
Efecto del tráfico	CT	L/m ² /mm	– 0.02	– 0.02
Factor de Vacíos de Diseño	FVD	L/m ² /mm	0.13	0.17
ALD	ALD	mm	11.6	5.9
Tasa de aplicación básica de asfalto (FVD × ALD)	T _b	L/m ²	0.12 × 11.6 = 1.51	0.17 × 5.9 = 1.00
Ajustes:				
Textura superficial	A _{ts}	L/m ²	0	N/A
Absorción del árido	A _a	L/m ²	0	0
Absorción en el sustrato	A _s	L/m ²	0	N/A
Penetración en el sustrato	A _p	L/m ²	0	N/A
Residuo de emulsión promedio/100	R	%	0.66	0.66
Dosificación de Emulsión (T _b +A _{ts} +A _a +A _s +A _p)/R	E	L/m ²	1.51/0.66 = 2.29	1.00/0.66 = 1.52
Dosificación de Árido A: (1.20 * ALD) B: (1.0 * ALD)	–	L/m ²	1.2 x 11.6 = 13.9 Adoptar 14	1.0 x 5.9 Adoptar 6

DOSIFICACIÓN AUSTRROADS				
	Dotación de áridos (L/m ²)		Dotación de emulsión (L/m ²)	
Tipo de tratamiento	Riego A	Riego B	Riego A	Riego B
Dosificaciones finales TD 25/14	14	6	2,3	1,5

Debido a que la superficie existente donde se aplicaría el tratamiento doble era una base cementada con una textura superficial de apariencia lisa, el diseñador ajustó dicho valor a 0. Tanto la absorción de ligante por el sustrato, como la absorción del árido se definió como 0, porque a juicio del diseñador ni la base, ni los áridos tenían potencial de absorción. Por último, la penetración en el sustrato por el “penetrómetro de bola” (Apéndice D del Libro) no se realizó, pero se estimó a partir de los valores de penetración de la Tabla 1, dando un valor de 0 también.

Por último, se recomienda invertir las dosis regadas en el A (45% del total) y el B (55%) para un mejor cubrimiento de la emulsión. En caso de realizar el tratamiento con riego de niebla las dosis se distribuyen en 40-40-20 para cada riego. El resumen de los resultados se observan en la Tabla 6.

Tabla 6. Dotación de emulsión en caso que se aplique o no riego de niebla.

	Riego A	Riego B	Riego Niebla
SIN RIEGO NIEBLA	1,7	2,1	-
CON RIEGO NIEBLA	1,5	1,5	0,8

3 Conclusión

El impacto ambiental que tiene la industria de la pavimentación, en combinación con la necesidad de una economía saludable, requiere de una concientización responsable sobre el uso eficiente de los recursos naturales y del Estado, sobre la seguridad de nuestros trabajadores y la de los usuarios de los caminos que construimos. El creciente costo de los materiales derivados del petróleo y las restricciones de las canteras, ponen cada vez más presión económica y medioambiental sobre las mezclas asfálticas, y el aumento del tránsito pesado genera necesidad de inversión en infraestructura y una gestión más eficiente de nuestro patrimonio vial.

La adaptación del libro “Chipsealing in New Zealand” y la aplicación de la norma de diseño Austroads a la realidad uruguaya es justamente el horizonte que se pretende apuntar y al lugar donde debemos reflejarnos a futuro si realmente queremos conseguir nuestros objetivos como país productivo. Deseamos brindarle al diseño las herramientas de ingeniería necesarias para extender los ciclos de vida de los tratamientos superficiales y así gestionar de manera más eficiente la caminería del país. Está demostrado internacionalmente, y pocos lo podrán refutar, que los tratamientos superficiales son la herramienta más importante para el mantenimiento de carreteras, por su bajo costo y por su posibilidad de mantener las rutas con un adecuado nivel de servicio. Debemos comprender además la sinergia que existe entre la estabilización de suelos y el tratamiento superficial, pues estas dos tecnologías en conjunto resaltan sus virtudes más valiosas.

El presente y futuro de la pavimentación está dirigido a reforzar las bases, utilizar carpetas finas y tratamientos superficiales de alto desempeño, apuntando a utilizar más asfaltos modificados, menos solventes, reduciendo las temperaturas de manejo del asfalto y mejorando las técnicas para otorgar superficies más confiables, duraderas y rentables. Pretendemos en este libro actualizar el oficio del tratamiento superficial, replicando las mejores técnicas y prácticas locales e internacionales, para que nuestra ruta sea lo más económica y difícil de romper. Estamos convencidos que debemos apuntar a las especificaciones por desempeño de emulsiones que se proponen en este manual para elevar así la calidad de nuestros tratamientos superficiales. También esperamos que se tenga mayor consideración en las propuestas de granulometrías, requisitos de calidad de los áridos y potencial de penetración en las bases. Confiamos que este camino es necesario, pues abre un universo de posibilidades para la red vial del país.

4 Referencias

Kroger, Ignacio; Kroger, Santiago. *Tratamientos Superficiales de Alto Desempeño*. Montevideo: Grupo Bitafal, 2018.