

DISEÑO Y EJECUCIÓN DE UN PROYECTO DE RECICLADO EN SITIO CON ASFALTO ESPUMADO EN URUGUAY

Faustina Keuliyán¹

¹ SERVIAM S.A, San José de Mayo, Uruguay, faustinakeuliyán@serviam.com.uy

Resumen

El desarrollo de tecnologías para el reciclado de pavimentos en sitio ha impulsado la técnica del estabilizado con asfalto espumado como una solución para la rehabilitación de pavimentos en Uruguay, que se enfrenta a grandes desafíos en cuanto a su infraestructura vial. El presente trabajo describe un proyecto de estabilizado con asfalto espumado, desde los estudios previos y el correspondiente diseño resultante, hasta su ejecución y posterior evaluación de desempeño.

Palabras Clave: estabilizado con ligantes asfálticos, asfalto espumado, reciclado in sitio de pavimentos

1 Introducción

La tendencia global en términos de infraestructura vial parece indicar que hay una creciente necesidad de rehabilitación y mantenimiento de pavimentos, por encima de la construcción de nuevas estructuras y consecuente expansión de las redes viales.

Particularmente, Uruguay cuenta con una red vial Nacional de 8.781 km de longitud, y si se tiene en cuenta su superficie la densidad de esta red es comparable con países de Europa Oriental o Nueva Zelanda. Si bien la cobertura de la red vial parece ser adecuada, Uruguay ha visto un drástico incremento en las cargas que circulan por sus rutas, como se muestra en la Figura 1, y esto ha resultado en un grave deterioro del estado de los pavimentos ya que las tareas de rehabilitación no han acompañado estos cambios tan acelerados.

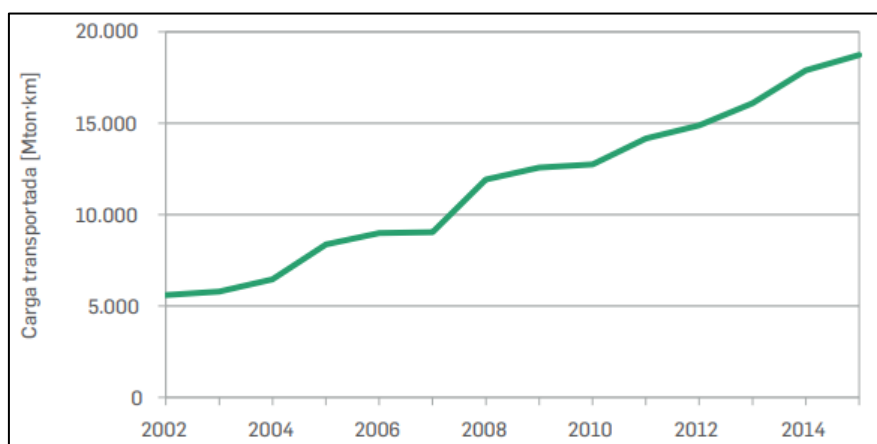


Figura 1. Evolución de la carga transportada por la red vial uruguaya [1]

En este sentido, los materiales estabilizados en frío con ligantes asfálticos, ya sea empleando emulsiones o asfalto espumado, han tomado protagonismo como solución para la rehabilitación de carreteras ya que se trata de una técnica que permite trabajar con diversidad de materiales existentes y otorga apreciables mejoras en su desempeño en servicio.

Asimismo, el desarrollo de tecnología que permite el reciclado en sitio de pavimentos ha impulsado el estabilizado con asfalto, ya que el aprovechamiento de los materiales existentes implica considerables ventajas medioambientales y económicas.

Frente a la necesidad de intervenciones en mantenimiento en la red vial uruguaya, se proyectó la rehabilitación de un corredor internacional mediante la técnica de reciclado en sitio con asfalto espumado, que implicó el estabilizado de la capa de base de forma de cumplir con los exigentes requisitos del tránsito para un horizonte de diseño de diez años.

El objetivo del presente trabajo es detallar el proceso de diseño para la rehabilitación de una ruta existente mediante la técnica del estabilizado con asfalto espumado, recorriendo desde los estudios previos en el tramo a rehabilitar hasta la obtención del diseño final, y su correspondiente ejecución.

1.1 Materiales estabilizados con asfalto

El uso de asfalto como agente estabilizador requiere de una reducción considerable en su viscosidad para otorgarle trabajabilidad a temperatura ambiente. Esto se puede lograr de dos maneras: utilizándolo como emulsión asfáltica o generando espuma de asfalto a partir de su interacción a altas temperaturas con agua, lo que genera un estado temporal de baja viscosidad, mientras la espuma es estable.

El comportamiento de los materiales es comparable para ambos estabilizadores, aunque presentan algunas diferencias puntuales. En este caso se decidió trabajar con asfalto espumado, para evitar trabajar con los elevados porcentajes de agua presentes en las emulsiones, que dificultarían el curado de la capa construida y su desarrollo de resistencia, de acuerdo con el clima que presenta la región de trabajo.

1.1.2 Asfalto espumado

La espuma de asfalto se logra mediante la inyección de agua dentro de una cámara de expansión, donde entra en contacto con asfalto a alta temperatura y como resultado de esta interacción el agua se transforma instantáneamente en vapor, que queda encapsulado en pequeñas burbujas de asfalto. Mientras esta espuma es estable, el asfalto estará en un estado de baja viscosidad, lo que le permite ser mezclado con los materiales granulares que se encontrarán a temperatura ambiente.

Durante el proceso de mezclado las burbujas de asfalto comienzan a romperse, convirtiéndose en pequeñas gotas que se adhieren a las partículas finas presentes en los materiales a estabilizar, y esta es la característica que definirá el comportamiento futuro del material estabilizado. Las partículas de asfalto dispersas a través de los finos actúan como puntos de contacto entre las partículas más gruesas, lo que genera un considerable aumento en la cohesión del material. La fricción interna, por depender principalmente del esqueleto granular dado por la fracción gruesa de los materiales, se mantiene casi inalterada.

Además del aumento de cohesión, estas partículas de asfalto tienen un efecto de encapsulamiento e inmovilización de los finos presentes en el material, lo que resulta en una mejora en la durabilidad y la susceptibilidad frente a la humedad, con respecto al material sin tratar [2].

Si bien la estabilización con asfalto genera mejoras en el comportamiento de los materiales existentes, éstos, una vez estabilizados, mantienen su carácter de granular no ligado, por lo que su mecanismo de falla será la acumulación de deformaciones permanentes inducidas por las cargas del tránsito. En este sentido, el estado último de deformación estará influido por el grado de compactación alcanzado en sitio, por el agregado de *filler* a utilizar - que favorece la cohesión - y por el porcentaje de asfalto a agregar, dos factores que se lograrán verificar en laboratorio.

2 Proyecto de reciclado en sitio

2.1 Definición del proyecto

Se seleccionó el reciclado en sitio con asfalto espumado como solución para la rehabilitación de un tramo perteneciente a un corredor internacional que une Uruguay con Argentina, fundamental en el transporte de producción nacional como madera, ganado y cultivos agrícolas. En este sentido se verá una exigencia importante en el tránsito de diseño, teniendo en cuenta la magnitud de las cargas que circularán por el tramo en el período de diseño de 10 años.

Se trata de un pavimento flexible, con capa de rodadura de mezcla asfáltica altamente fisurada que ha tenido diversas intervenciones de mantenimiento, de distinta magnitud y calidad, tal como ilustra la Figura 2.



Figura 2. Estado previo del pavimento a rehabilitar

2.2 Tránsito de diseño

La Tabla 1 resume el cálculo de tránsito de diseño, que se obtuvo a partir de datos de puestos de conteo presentes en el corredor de estudio. Como no se contó con datos

de pesaje para dicho tramo, las cargas se determinaron con datos pertenecientes a un corredor cuyas cargas y volúmenes son comparables.

El tránsito promedio diario anual (TPDA) es de 1476 vehículos y se adoptó una tasa de crecimiento del 3% anual, para un horizonte de 10 años. Se proyectó un escenario en que el 50% de los vehículos pesados llevan su carga máxima y el 50% lleva su carga mínima.

Tabla 1. Cálculo de tránsito de diseño

Parámetro	Vehículos pesados cortos	Vehículos pesados medianos	Vehículos pesados largos
TPDA por carril	12	97	223
Factor de equivalencia de carga mínimo	0,05	0,11	0,09
Factor de equivalencia de carga máximo	1,8	6,9	7,1
Ejes equivalentes diarios por carril	10	339	796
Tránsito de diseño para 10 años	5.24 x 10⁶ ejes equivalentes		

De acuerdo al manual sudafricano *Technical Guideline: Bitumen stabilised materials* (TG2) [2] los materiales estabilizados con asfalto se definen como BSM1 (por su sigla en inglés bitumen stabilised materials) para tránsitos de diseño mayores a 6 millones de ejes equivalentes, típicamente obtenido a partir del estabilizado de piedra partida y RAP, y BSM2, capaz de llevar tránsitos de entre 3 y 6 millones de ejes equivalentes, y se puede lograr a partir del estabilizado de materiales granulares y RAP.

El proyecto de rehabilitación, por el tipo de tramo en consideración y por el tránsito de diseño, se proyectará de acuerdo a las especificaciones establecidas para un material de tipo BSM2.

2.3 Ensayos previos

Por tratarse de un reciclado, será fundamental realizar con un alto grado de detalle una caracterización previa tanto del paquete estructural como de las propiedades de los materiales existentes. En este caso los estudios previos incluyeron:

- Un cateo por kilómetro, hasta una profundidad de 30 cm para conocer el posible horizonte de reciclado y el espesor existente de mezcla asfáltica. Es importante comentar que, para lograr una adecuada eficiencia en la compactación, no se trabaja con reciclados superiores a 25 cm.
- Calicatas de espesor completo, para determinar espesores existentes y caracterizar las distintas capas del paquete estructural. Para esto se extraen muestras de cada una y se determina: humedad existente, granulometría, límites de Atterberg y humedad óptima, incluso para la capa de subrasante. En cada calicata se realizó un ensayo de cono dinámico de penetración (DCP, por su sigla en inglés) que posteriormente se correlacionó con valores de CBR.

- Ensayos DCP cada 500 metros, para densificar la información obtenida en cuanto a espesores, y posteriormente correlacionar los valores de penetración con resultados de CBR.

Se resumen algunos de los resultados obtenidos en la Figura 3 y en la Tabla 2.

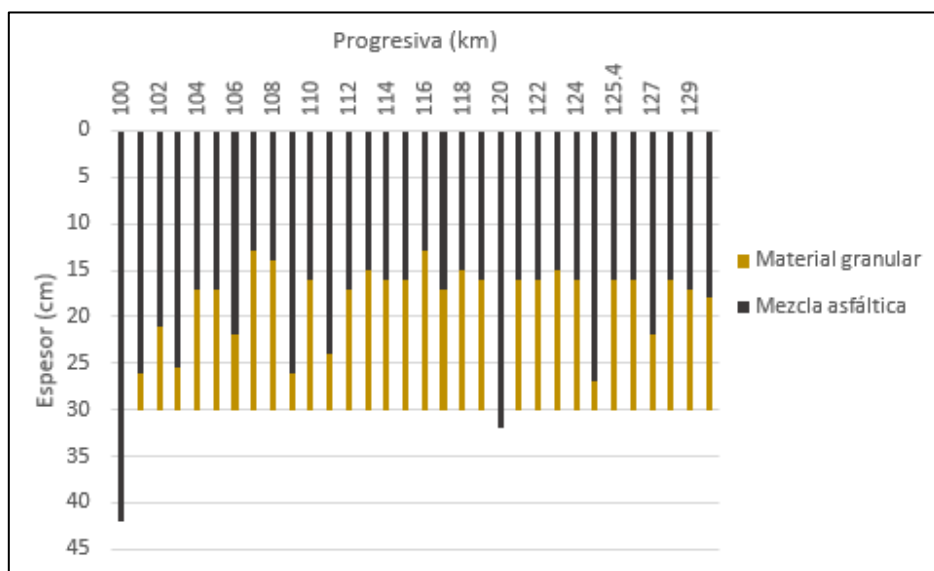


Figura 3. Espesores de mezcla asfáltica existente

Tabla 2. CBR obtenido por correlación para horizontes de 15 cm

Estadística	Profundidad de la capa (cm)					
	0-15	15-30	30-45	45-60	60-75	75-100
Promedio (%)	108	118	112	75	35	15
Percentil 90 (%)	174	186	216	199	85	19

A partir de lo anterior, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se cuenta con un espesor promedio de mezcla asfáltica de 19 cm, que para el primer kilómetro aumenta considerablemente, alcanzando espesores de entre 42 y 47 cm. Esto se tratará de manera diferencial al momento de la ejecución.
- Los valores de CBR obtenidos para la subrasante por correlación con DCP son del orden de 15%. En este sentido se puede afirmar que al momento de realizar los ensayos la subrasante se encuentra en un estado seco, que le otorga un alto grado de consolidación que hace que al correlacionar el índice de penetración con el CBR se obtenga un valor elevado. Considerando las calicatas, donde se caracterizó a la subrasante como un material limoso a arcilloso, con coeficientes de expansión que pueden alcanzar hasta 2,7; se trabajará con valores más conservadores para la capacidad soporte de la subrasante.

2.3.1 Deflexiones

Se cuenta con mediciones de deflexiones en el carril hacia el Norte, que se considera el de diseño por ser el más cargado. Mediante la metodología AASHTO se determinaron tramos homogéneos, como muestra la Figura 4, para estudiar posibles soluciones diferenciales tramo a tramo.

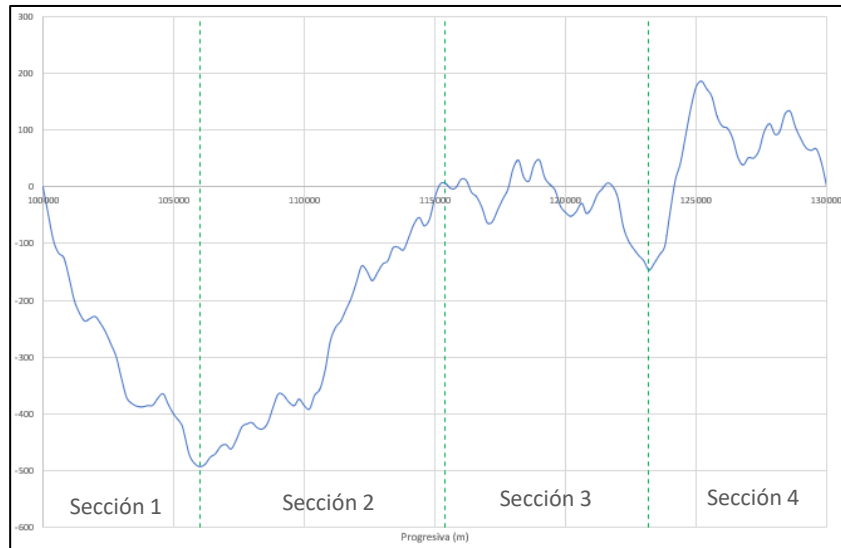


Figura 4. Definición de tramos homogéneos

La metodología sudafricana usa valores de referencia para evaluar las deflexiones medidas y así determinar la condición estructural del pavimento de estudio [3]. La Figura 5 muestra, considerando los cuatro tramos homogéneos, las deflexiones máximas obtenidas y la correspondiente comparación con los valores de referencia, que se indican en la Tabla 3.

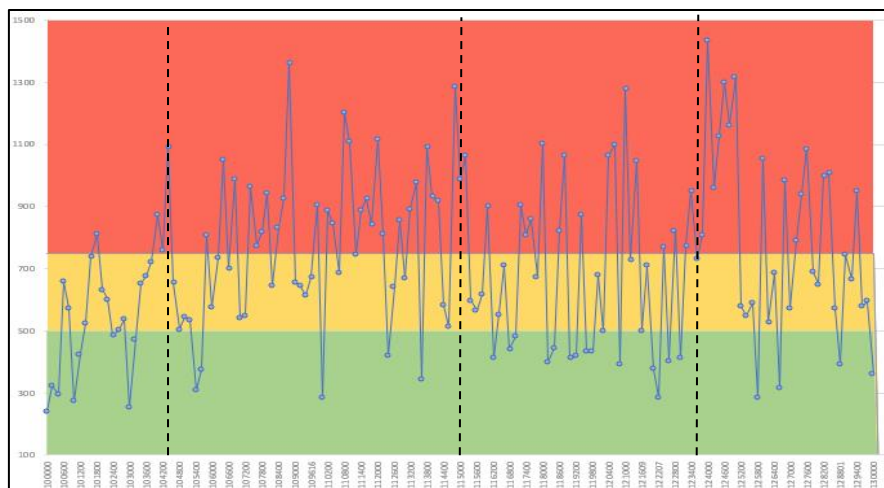


Figura 5. Evaluación de deflexiones máximas

Tabla 3. Evaluación de condición estructural del pavimento

Material de base	Condición estructural	Deflexión máxima medida (μm)
Base de material granular	Adecuada	<500
	En riesgo	500-750
	Deficiente	>750

A partir de lo anterior se puede concluir que la mejor condición estructural está presente en la Sección 1, lo que es coincidente con el elevado espesor de mezcla asfáltica constatado en los estudios previos. Sin embargo, todas las secciones restantes presentan valores de deflexiones cercanos o por encima de 500 μm , que indica una condición estructural que va de “en riesgo” a “deficiente”.

El estado previo de las cuatro secciones es similar, por lo que se decide adoptar una única solución de rehabilitación para todo el tramo. Se tratará los elevados espesores de mezcla asfáltica presentes en el primer kilómetro de manera diferencial por aspectos constructivos y de aptitud del material, que se comentarán más adelante.

3 Diseño propuesto

De acuerdo a la calidad de los materiales existentes y los requisitos estructurales del proyecto se propusieron tres alternativas para el diseño del reciclado, resumidos en la Tabla 4, que se llevan a laboratorio para ensayar y determinar su aptitud como material de tipo BSM2.

Tabla 4. Diseños propuestos para reciclado

Diseños	RAP	Material granular existente	Material granular de aporte	Polvo de trituración	Piedra partida (5-14mm)
1	68%	12%	20%		
2	85%	15%			
4	68%	12%		10%	10%

Se estudió, por otro lado, el denominado diseño 3, para el estabilizado del material presente en banquina (100% granular). Este estudio fue a modo de verificación, ya que se adoptaría para las banquetas igual solución que lo proyectado para la calzada.

Para cada diseño se siguió una metodología de trabajo en laboratorio de forma de optimizar cada uno de los componentes presentes en el estabilizado, que se detallará en las secciones a continuación.

3.1 Materiales granulares

Una de las mayores ventajas que ofrecen los estabilizados con asfalto, principalmente para proyectos de reciclado, es que permiten trabajar con diversos materiales, desde granulares, piedra triturada, RAP e incluso materiales previamente estabilizados, con cemento Portland, por ejemplo.

Sin embargo, existen requisitos de granulometría y plasticidad que hay que considerar. En este sentido se deberá trabajar con materiales base con índices de plasticidad inferiores a 10, que se podrán estabilizar con cal en caso contrario, y se deberá prestar especial atención al porcentaje de finos (partículas menores a 0.075mm). Los finos presentes en el material favorecen la dispersión de las gotas de asfalto, por lo que son un importante requisito para lograr buenos valores finales de cohesión. Sin embargo, porcentajes elevados de finos demandarán contenidos de asfalto mayores, por tener mayor superficie específica.

Las Figura 6 muestra las granulometrías de los tres diseños a estudiar, enmarcados en la granulometría sugerida por el TG2 [2].

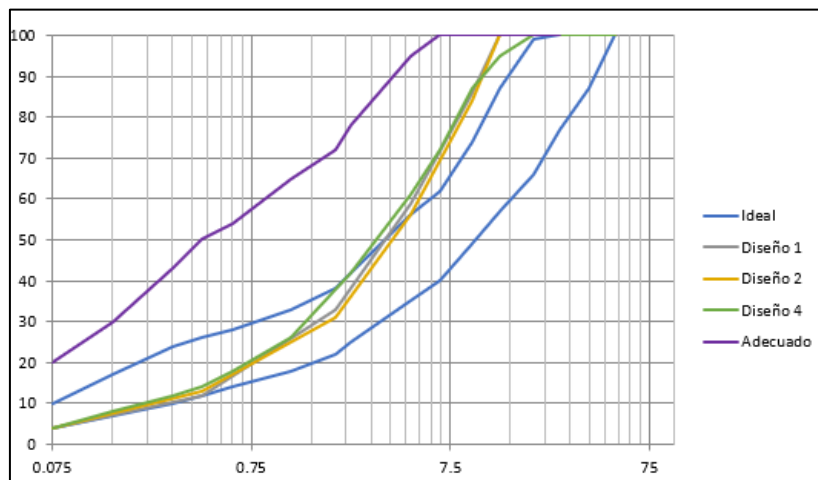


Figura 6. Granulometrías de materiales a utilizar

3.2 Tipo de asfalto

Para la estabilización de materiales se utilizan asfaltos convencionales, preferiblemente con penetraciones entre 80 y 100 dmm. Asfaltos más duros producirán espumas de peor calidad, de las que se puede esperar una peor dispersión. Sin embargo, al no contar en Uruguay con asfaltos en ese rango de penetraciones, se trabajó con asfalto tipo AC-20, cuya penetración fue considerablemente menor, ubicándose entre 40 y 55 dmm.

3.3 Adición de filler

Se utiliza cemento Portland en dosis no mayores a 1% en peso de material seco, para favorecer la adhesividad del asfalto a los materiales granulares y para mejorar la dispersión de la espuma.

3.4 Porcentaje óptimo de asfalto

3.4.1 Resistencia a la tracción indirecta

Para la determinación del porcentaje óptimo de espuma de asfalto se recurre al ensayo mecánico de resistencia a la tracción indirecta (ITS por su sigla en inglés, indirect

tensile strength). Para los tres diseños propuestos, y considerando el agregado de 1% de cemento Portland, se moldean probetas para dosis de asfalto de 1.8%, 2.0% y 2.2% en peso de material seco, que se ensayan en condición seca y saturada.

3.4.2 Preparación de probetas

La elaboración de probetas supone el mezclado del material con la espuma de asfalto logrando su homogeneidad y correcto estabilizado, su posterior compactación y curado hasta llegar a las condiciones de humedad requeridas por el ensayo.

Se usa una unidad de espumado de laboratorio que cuenta con una cámara de expansión, como se muestra en la Figura 7, en conjunto con un mezclador de paletas, para estabilizar y mezclar el material y así replicar el trabajo de la recicladora en sitio. Durante el mezclado se trabaja con un contenido de humedad del orden de 70-80% de la humedad óptima del material previo a su estabilizado.



Figura 7. Unidad de espumado de laboratorio [4]

A continuación, se procede a la compactación de las probetas, que se realiza con un martillo vibratorio para replicar las energías de compactación alcanzables en obra, teniendo como densidad objetivo el peso específico seco máximo, según el método AASHTO modificado. Por su parte, la compactación de probetas se realiza con el porcentaje de humedad óptima.

Las probetas correctamente compactadas se someten a un proceso controlado de curado, de forma tal que comiencen a perder humedad paulatinamente en tanto desarrollan su resistencia inicial. Se seca en horno a 40°C durante 72 horas, verificando el peso constante y se llevan a ensayar la mitad de las probetas secas, como muestra la Figura 8. Las restantes se llevan a condición saturada mediante la sumersión en un baño a 25°C durante 24 horas. El control de las temperaturas será importante en tanto afecta el comportamiento del asfalto presente en las probetas.



Figura 8. Ensayo de resistencia a la tracción indirecta

De acuerdo a los resultados obtenidos y la especificación para BSM2, detallados en la Tabla 5, se define el óptimo de asfalto en 2% ya que tanto los valores secos como saturados cumplen con los requisitos de diseño. Se descarta el 1,8% por el riesgo que presenta trabajar con caudales tan bajos, ya que impide alcanzar presiones adecuadas para lograr una buena atomización de la espuma.

Tabla 5. Resultados de ensayo de tracción indirecta (ITS)

Diseño	% asfalto	% filler	ITSseca (kPa)	BSM2 (kPa)	ITSsat (kPa)	BSM2 (kPa)
1	2	1	276	175-225	193	75-100
	2.2	1	218	175-225	142	75-100
2	2	1	216	175-225	161	75-100
	2.2	1	181	175-225	142	75-100
4	2	1	166	175-225	125	75-100
	2.2	1	166	175-225	132	75-100

3.5 Ensayo triaxial

Una vez definido el porcentaje óptimo de asfalto en 2%, se selecciona el diseño final sometiendo a cada una de las mezclas al ensayo triaxial tanto seco como saturado. De este ensayo se obtienen las propiedades de cohesión y fricción interna que definen al material estabilizado, y de su condición saturada se tiene un mejor conocimiento de su susceptibilidad frente a la humedad.

Las condiciones de humedad de trabajo se mantienen tanto para el mezclado como para la compactación, cuya metodología únicamente cambia en el número de capas que se compactan, ya que estas probetas son de 30 cm de altura, como muestra la Figura 9.



Figura 9. Ensayo triaxial sin confinamiento

Se resumen los resultados obtenidos para el ensayo triaxial en la Tabla 6, donde a su vez se detallan las especificaciones para los materiales tipo BSM2.

Tabla 6. Resultados de ensayo triaxial

Diseño	Cohesión (kPa)	BSM2 (kPa)	Fricción interna (°)	BSM2 (°)	Cohesión retenida (%)	BSM2 (%)
1	228	100-250	35.4	30-40	92	60-75
2	233	100-250	33.4	30-40	86	60-75
4	299	100-250	34.1	30-40	84	60-75

3.5.1 Selección de diseño final

Los resultados obtenidos en el ensayo triaxial indican que la totalidad de los diseños propuestos cumplen con las especificaciones para BSM2. Se observa, adicionalmente, que la cohesión retenida supera lo indicado para BSM2, y por lo tanto el material tendrá un excelente comportamiento frente a la acción de la humedad, resultando en mayor durabilidad.

Teniendo en cuenta que el Diseño 2 implica el aprovechamiento total de los materiales existentes, se opta por esta mezcla para la ejecución del reciclado en sitio. Se efectúa, con los parámetros de cohesión y fricción interna obtenidos a partir del ensayo triaxial, un cálculo estructural según la metodología sudafricana para la determinación del espesor de reciclado, que según la estructura resultante y el tránsito de diseño resulta de 25 cm. Como capa de rodadura se colocará mezcla asfáltica convencional de 4 cm de espesor, a la que no se adjudica aporte estructural, sino que únicamente tiene aporte funcional.

Algunos comentarios adicionales que se agregan a la solución final incluyen:

- El grado de fisuración existente, en forma de bloque, presenta una desventaja constructiva ya que con el paso de la recicladora estos bloques se desprenden intactos, perjudicando la granulometría obtenida. Además, la proporción de mezcla frente a materiales granulares implica un horizonte de trabajo muy exigente para la recicladora y dificultará las presiones de inyección de la espuma. Ante esto, se realiza un fresado previo de la totalidad del tramo.
- Se requiere un aporte de 8 cm de material granular en el primer kilómetro, donde se encuentran elevados espesores de mezcla asfáltica, para garantizar el aporte de finos necesario y por ende una buena cohesión interna
- Por el alto grado de bacheo que presenta el tramo, con mezclas de espesores y calidades variables, se presta especial atención a estos casos ya que el asfalto, por su elasticidad, presentará problemas para compactar y generará heterogeneidades en el material a tratar. Se considera sustitución del material en casos particulares.

4 Ejecución del proyecto

Se completó el reciclado del tramo completo en calzada y banquina en dos etapas, ya que se exigió una temperatura de trabajo para el material en sitio mayor de 15°C ya que bajas temperaturas perjudican la calidad de la espuma y la homogeneidad de la mezcla.

Además de las temperaturas, otro aspecto constructivo a tener en cuenta es la calidad y eficiencia de la compactación, no solo por tratarse de una base granular, cuya densidad alcanzada será fundamental en su desempeño en servicio, sino por trabajar con un espesor de 25 cm. En este aspecto se contó en obra con un exigente control de calidad que implicó la realización de al menos dos ensayos Proctor modificado diarios y la medición diaria de densidades mediante densímetro nuclear.

La ejecución de un ancho de 4.50 m por carril, como es el caso de estudio, implicó el trazado de un cuidadoso plan de trabajo, para asegurar una adecuada distribución de los materiales, optimizando las pasadas de cada uno de los equipos (esparcidora de cemento portland, recicladora y maquinaria de compactación) y garantizando un adecuado solape entre cortes, sin exceder la superposición del estabilizado, ya que el exceso de cemento podría dar problemas. La Figura 10 ilustra el tren de reciclado que permite la correcta ejecución del estabilizado in situ, teniendo posteriormente etapas de perfilado y compactación, para lograr las pendientes transversales adecuadas para la capa de base, pero con especial énfasis en la compactación, para garantizar los valores finales de resistencia alcanzados a nivel de laboratorio.



Figura 10. Tren de reciclado en sitio

El control de las humedades de trabajo se encuentra estrechamente ligado con las densidades alcanzadas y a su vez con la calidad de la estabilización ya que la humedad favorece la dispersión de la espuma. Por otro lado, los excesos de humedad generarán deformaciones prematuras, que podrían darse por situaciones tan cotidianas como pérdidas en mangueras o recarga de agua de compactación.

Una vez ejecutados los trabajos de estabilizado y compactación, se protege la capa terminada mediante un riego de curado con emulsión asfáltica convencional diluida al 25%, para evitar la erosión provocada por el tránsito. Mientras este riego no se ejecuta, la capa terminada se mantiene húmeda, ya que las pérdidas bruscas de humedad podrían provocar fisuración superficial.

4.1 Desafíos encontrados

La obra contó con un estricto control de calidad desde el inicio, cuidadosamente definido y dimensionado de acuerdo a la disponibilidad de personal y equipamiento de laboratorio. Se controlaba diariamente el material estabilizado mediante la realización de ensayos ITS secos y saturados, para lo que prestó especial atención al muestreo en sitio, buscando la representatividad de toda la capa. Se hacían además mediciones diarias de la humedad existente del material, con estrecha comunicación con la obra para hacer los ajustes necesarios y posteriormente se hacían mediciones de las densidades alcanzadas en sitio.

No obstante, se presentó la necesidad de realizar algunos retrabajos en zonas que presentaron deformaciones prematuras, por dos motivos distintos, que llevaron a soluciones distintas. Por un lado, deformaciones sin presencia de fisuración, por causa de humedades excesivas en el material fueron corregidas mediante fresado. Por otro lado, deformaciones acompañadas por fisuración, teniendo valores adecuados para la resistencia del estabilizado, normalmente se daban por una elevada heterogeneidad en el material existente y un soporte inadecuado para la capa estabilizada. En este caso se opta por la sustitución de la capa subyacente y un re-estabilizado ajustando las dosis.

Sin embargo, el principal desafío que impuso el proyecto fue la fisuración encontrada tanto en la capa de base estabilizada como en la capa de mezcla asfáltica, como muestra la Figura 10.



Figura 11. Fisuración encontrada en mezcla asfáltica

Ante la situación encontrada se pudo concluir que, por un lado, como los valores de densidades y de resistencia obtenidos en la etapa de obra fueron adecuados, y además se presentaba con ausencia de deformación, no podían ser atribuibles a fallas en el comportamiento mecánico del material estabilizado.

Finalmente, se pudo categorizar alguna fisuración, por su localización y espesor (menor de 3mm), como un exceso de cemento portland presente en los solapes constructivos, mientras que otras fisuras de mayor espesor surgieron por causa de movimientos de la subrasante, que en zonas fue caracterizada como arcillosa. Éstas se propagan desde la subrasante hacia las capas superiores, fueron oportunamente selladas y hasta el momento no han mostrado mayor evolución.

4.2 Evaluación del proyecto ejecutado

Ante la interrogante que introdujo la mencionada situación de fisuración, se realizó una nueva campaña de medición de deflexiones posterior a la rehabilitación del tramo, que se muestra en la Figura 11, habiendo transcurrido un año desde su ejecución, tiempo durante el cual el estabilizado sigue incrementando su resistencia.

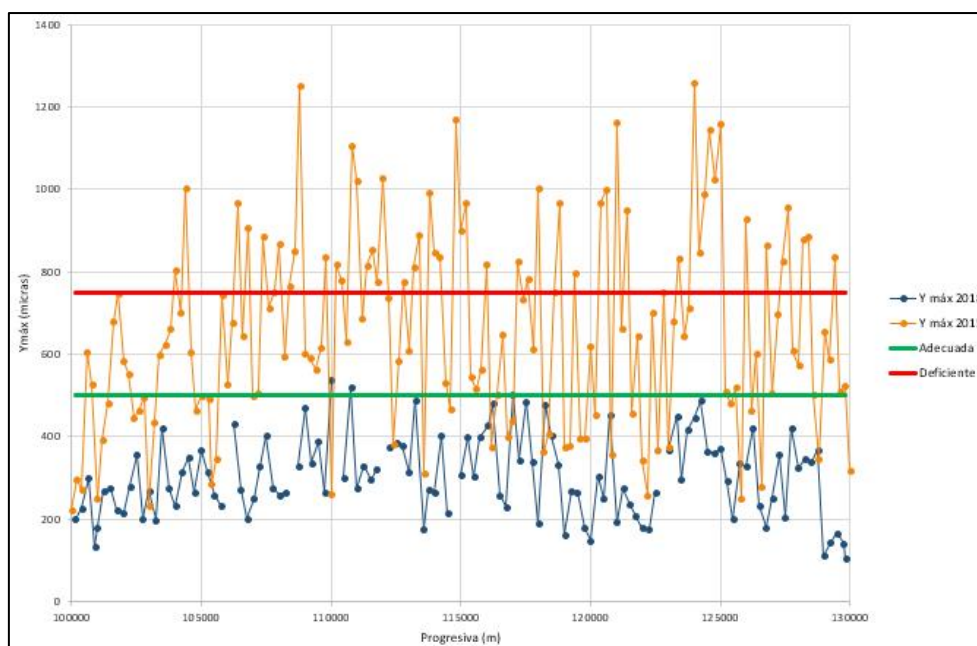


Figura 12. Deflexiones máximas antes y después de la rehabilitación

Como se aprecia en la figura, hubo una importante disminución en las deflexiones máximas. Mientras que previo a la rehabilitación la deflexión máxima promedio presentaba valores de 650 μm con desviaciones del orden de 200 μm , luego de la ejecución del estabilizado la deflexión máxima promedio es de 300 μm con una desviación de 98 μm , lo que indica no solo una mejora en la capacidad estructural del material, sino que también se eliminaron varias de las heterogeneidades presentes en el tramo.

A su vez, si se tiene en cuenta los valores de referencia para evaluar la condición del pavimento, casi la totalidad del tramo se ubica por debajo de las 500 μm , quedando dentro de la condición estructural de “adecuada”, lo que implica una mejora significativa al paquete estructural en cuando a su capacidad soporte.

La ejecución del reciclado en sitio cumplió con los requisitos de proyecto y se prevé un correcto desempeño hasta finalizado su horizonte de diseño de 10 años. La fisuración encontrada respondió a aspectos constructivos por un lado e inherentes a los materiales existentes, y habiendo realizado una campaña de sellado de fisuras, manteniendo un adecuado monitoreo se espera que no generen mayores inconvenientes futuros.

5 Conclusiones

Se puede valorar el trabajo realizado desde distintos puntos de vista. El valor tanto económico como medioambiental de la solución técnica es significativo, visto que permite el aprovechamiento en gran medida de la estructura existente, y se logran pavimentos duraderos y resistentes, tal como muestra la evaluación del firme luego de su rehabilitación. No obstante, los desafíos encontrados en la práctica muestran que la etapa constructiva es altamente condicionante para el desempeño en servicio.

En este aspecto se resalta la necesidad de contar, en una etapa previa a la rehabilitación, con una buena red de drenajes, para evitar que variaciones en la humedad generen fisuraciones superficiales. Otro aspecto constructivo a considerar es el plan de ejecución, realizar un adecuado dimensionamiento de las pasadas de los distintos equipos para el ancho de trabajo y los correspondientes solapes, de manera de evitar los excesos de cemento Portland. Si bien se realizó una calibración del camión esparcidor previo al inicio de los trabajos, sería una buena práctica realizarla de manera periódica, a modo de verificación de la homogeneidad en la dosificación.

Finalmente, este y otros proyectos que se han diseñado según la misma técnica en Uruguay han demostrado que se logra un mejor comportamiento y mayor aprovechamiento de la solución siempre que se cuente con un paquete con alto grado de homogeneidad en cuanto a tipo y calidad de materiales existentes y sus espesores. La presencia de heterogeneidades implica el tratamiento diferencial de lugares puntuales, lo que quita eficiencia a la construcción, generando incertidumbres y comportamientos distintos a lo largo del tramo.

Teniendo en cuenta los aspectos prácticos que permitirán optimizar la solución y su comportamiento en servicio, se ha visto que la técnica de reciclado con asfalto espumado es una herramienta de gran poder para la rehabilitación de pavimentos en Uruguay, donde se tiene una red con grandes necesidades de mantenimiento, frente a un deterioro acelerado e inesperado.

6 Referencias

- [1] Asociación Uruguaya de Caminos. (2017). *Situación de la Vialidad Uruguaya 2017*. Obtenido de: <http://www.auc.com.uy/archivos/situacionVialidadUruguaya2017.pdf> (Fecha de acceso: 20 mayo 2019).
- [2] Asphalt Academy. (2009). *Bitumen Stabilised Materials. A Guideline for the Design and Construction of Bitumen and Foamed Bitumen Stabilised Materials*. Pretoria: Asphalt Academy.
- [3] Horak, E. (2008). *Benchmarking the structural condition of flexible pavements with deflection bowl parameters*. Journal of the South African Institution of Civil Engineering. 50 (2), pp 2-9.
- [4] Wirtgen Group. (2017). *BSM Cold Recycling Laboratory Handbook*. Windhagen: Wirtgen Group.