

# Experiencia de uso y estudio del comportamiento mecánico de mezcla con 100% RAP para operaciones de mantenimiento vial

**Enrique Fernández,**  
efernandez@intervalchile.cl  
**Fabián Molina,**  
fmolina@intervalchile.cl  
**Alexis Hermosilla,**  
ahermosilla@intervalchile.cl  
**Elsa Sanchez,**  
elsa.sanchez@ufrontera.cl

**Alejandra Calabi,**  
alejandra.calabi@ufrontera.cl  
**Luis Mardones,**  
luis.mardones.p@ufrontera.cl  
**Gonzalo Valdés,**  
gonzalo.valdes@ufrontera.cl

Las carreteras están expuestas a la acción del tránsito y del clima, lo que implica una disminución progresiva de las características estructurales del pavimento. Es por esto, que existen distintos procedimientos para controlar y minimizar el avance de los deterioros con el fin de mantener el pavimento asfáltico en los estándares necesarios de serviciabilidad, seguridad y un alto estándar de confort para los usuarios.

Por ello, surge como una alternativa viable y sostenible el uso de los agregados reciclados para la reparación in situ de baches, utilizando así los residuos asfálticos generados por la misma ruta con 100% de RAP. Proceso realizado a través de una planta móvil recicladora de asfalto, trabajos que pueden ejecutarse en cualquier temporada del año, además, no daña el medio ambiente, se reutilizan los materiales y permite disminuir tanto la producción de CO<sub>2</sub> (Huella de Carbono), el volumen de botaderos con ahorro en materia prima.

La metodología de reutilización de 100% de residuos asfálticos, está respaldada por estudio del comportamiento de las propiedades mecánicas y evaluación de las características de diseño, realizado por Laboratorio de Universidad de la Frontera, Chile, en comparación a mezclas asfálticas convencionales en caliente y mezclas asfálticas en frío, donde, la mezcla reciclada, presenta un comportamiento superior a la mezcla predosificada en frío, utilizada usualmente para intervenciones de bacheo y que tiene características muy similares (mecánicas y diseño) a la mezcla asfáltica convencional en caliente, pero contribuyendo en el área ambiental y economía circular de la industria de pavimentación vial.

**Palabras Clave:** Conservación, mantenimiento vial, mezclas recicladas, RAP.

Roads are exposed to the action of traffic and weather, which implies a progressive decrease in the structural characteristics of the pavement. For this reason, there are different procedures to control and minimize the progress of deterioration, in order to maintain the asphalt pavement in the necessary standards of serviceability, safety and a high standard of comfort for users.

For this reason, the use of recycled aggregates for on-site repair of potholes emerges as a viable and sustainable alternative, using asphalt waste generated by the same route with 100% RAP. Process carried out through a mobile asphalt recycling plant, works that can be carried out in any season of the year, in addition, it does not harm the environment, the materials are reused and it reduces both the production of CO<sub>2</sub> (Carbon Footprint), the volume dumps with savings in raw material.

The 100% reuse methodology for asphalt wastes is supported by a study of the behavior of mechanical

# Experiencia de uso y estudio del comportamiento mecánico de mezcla con 100% RAP para operaciones de mantenimiento vial

properties and an evaluation of design characteristics, carried out by the Universidad de la Frontera Laboratory, Chile, compared to conventional hot asphalt mixes and mixtures. cold asphalt mix, where the recycled mix exhibits superior behavior to the cold pre-dosed mix, usually used for patching operations and which has very similar characteristics (mechanical and design) to the conventional hot mix asphalt, but contributing to the environmental area and circular economy of the road paving industry.

**Keywords:** Conservation, road maintenance, recycled blends, Reclaimed Asphalt Pavement.

## 1. INTRODUCCIÓN

La calidad de servicio de los pavimentos asfálticos disminuye conforme recibe a través del tiempo las solicitaciones generadas por la acción del tránsito y el clima [1]. Por esta razón, el mantenimiento y la conservación del pavimento son de gran importancia cuando se realiza en etapas donde la calidad de servicio de la estructura es buena y aún no se ha visto comprometida con deterioros de mayor severidad [2]. Es posible destacar, que una estructura de pavimento con un cierto grado de deterioro y en presencia de agua muestra una rápida disminución de su calidad de servicio, debido a la pérdida de su estabilidad funcional y estructural [3]. Esto cobra relevancia, puesto que debido a la pérdida acelerada de la calidad de servicio en el pavimento se incrementan los costos y tiempos de intervención, junto con los costos y tiempos de desplazamiento de los usuarios. En los últimos años, el pavimento asfáltico reciclado (RAP) ha sido ampliamente utilizado en la construcción de nuevas mezclas asfálticas para pavimentos flexibles debido a que presenta beneficios económicos, sociales y ambientales [4]. En el mismo contexto, las actividades de mantenimiento de las carreteras se están volviendo un problema dominante en la rehabilitación de las estructuras. Es por esto, que a modo de estrategia para preservar la estructura de pavimento, y a la vez buscar una mayor sostenibilidad de la industria vial, es que se está utilizando el RAP en las faenas de mantenimiento [5]. Esto se debe a que se puede minimizar el uso de materiales vírgenes, impactando con una menor intervención en el medio (flora, fauna y paisaje). Además, esto conlleva a una menor emisión de gases de efecto invernadero y reducción de costos [6]. En este contexto, en la literatura se encuentran procedimientos de mantenimiento de bajo costo y rápida ejecución, como es la utilización de micropavimentos que utilizan una delgada capa de mezcla asfáltica compuesta de áridos, ligantes modificados y RAP. Estas mezclas muestran una buena resistencia al deslizamiento, al daño por humedad y durabilidad [5]. También existen otras metodologías de mantenimiento que

utilizan el RAP para la reparación de distintos deterioros de la estructura de pavimento (baches, entre otros). El método por inyección a través de aire forzado es una de ellas, y consiste en la aplicación de una emulsión adherente (riego de liga), seguida de una mezcla de áridos y RAP con una emulsión con agentes rejuvenecedores. [7]. La tecnología CIR (cold in-place recycling) corresponde a una metodología in situ, en la cual el pavimento es fresado, triturado y mezclado con una emulsión, para posteriormente ser compactada en frío [8]. De las distintas metodologías para el uso de RAP en mezclas asfálticas, el reciclaje in situ provee ventajas positivas respecto a otros métodos de reciclaje [9]. Se ha observado ahorros económicos de hasta un 30%, correspondientes a transporte y reducción de energía, disminución de los tiempos de ejecución de las obras de repavimentación y mantenimiento [10]. En la actualidad, la innovación en materia de infraestructura vial ha permitido utilizar técnicas de mantenimiento in situ que proponen una intervención para cada rango de deterioro de una estructura de pavimento, presentando mejores resultados que los procedimientos tradicionales. Por ello, y en busca de aportar con soluciones prácticas e innovadoras es que en el presente artículo se muestra la experiencia del uso de un procedimiento de mantenimiento vial in situ, con la utilización de una planta móvil recicladora de mezcla asfáltica que permite utilizar el 100% de RAP. Además, se presenta el comportamiento mecánico de estas mezclas recicladas con 100% RAP y se compara con una mezcla convencional y una mezcla pre dosificada utilizada usualmente en faenas de mantenimiento vial.

## 2. EXPERIENCIA EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS CON MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS IN SITU EN CHILE

Es importante corregir los deterioros prematuros antes que involucren pérdida de la capacidad estructural del pavimento. Esto se consigue, con operaciones de mantenimiento que tienen por objetivo conservar el pavimento en una condición es-

tructural y de servicio, similar al que tenía post construcción, corrigiendo los deterioros y entregando funcionalidad a la estructura. Los deterioros que generan mayor riesgo para el tránsito de los vehículos son los baches en la capa asfáltica. Estos corresponden a una cavidad, normalmente redondeada que se forma al desprenderse mezcla [11]. Las técnicas convencionalmente utilizadas para el mantenimiento de este tipo de deterioro corresponden al bacheo superficial o bacheo profundo, el cual depende del nivel de severidad del deterioro. El bacheo superficial comprende operaciones de reparación y reemplazo de zonas del pavimento que se encuentran deterioradas, siempre que afecten exclusivamente la superficie de la capa asfáltica, encontrándose en buenas condiciones las demás capas subyacentes. El bacheo profundo comprende operaciones de reemplazo de las zonas que presenten fallas estructurales, causadas por el agrietamiento de las diversas capas asfálticas o por debilitamiento de la base, subbase o subrasante [12].

### 2.1 Mantenimiento y rehabilitación de estructuras de pavimento con la utilización de una metodología de reciclado de mezcla asfáltica en situ.

En busca de una solución innovadora junto al creciente interés en la conservación de los materiales y la protección del medio ambiente, las Sociedades Concesionarias Ruta de La Araucanía y Ruta de Los Ríos, pertenecientes al grupo de Concesiones de ISA INTERVIAL, son pioneras en Chile en la utilización de mezclas asfálticas fabricadas con un 100% de RAP en faenas de mantención y rehabilitación de estructuras de pavimento. Esto ha permitido reemplazar la técnica utilizada convencionalmente en base a mezclas predosificadas. Esta técnica permite fabricar a través de una Planta Móvil Recicladora de Asfalto una nueva mezcla asfáltica que utiliza un 100% de RAP que proviene de una capa de rodadura ya deteriorada, al cual se le adiciona una emulsión asfáltica diluida. La producción de la mezcla asfáltica reciclada, se ejecuta en una tolva de 1.5 m<sup>3</sup> de capacidad. En ella se ingresa el RAP obtenido post fresado, en conjunto con 40 litros de emulsión asfáltica diluida en agua en proporción 1:1. Posteriormente se eleva la temperatura de mezclado a 150°C, por un periodo aproximado de 8 horas (Figura 1).

Antes de comenzar con las faenas de rehabilitación y mantenimiento se identifica el tipo de deterioro a reparar, que se encuentra presente en la estructura de pavimento. De esta for-

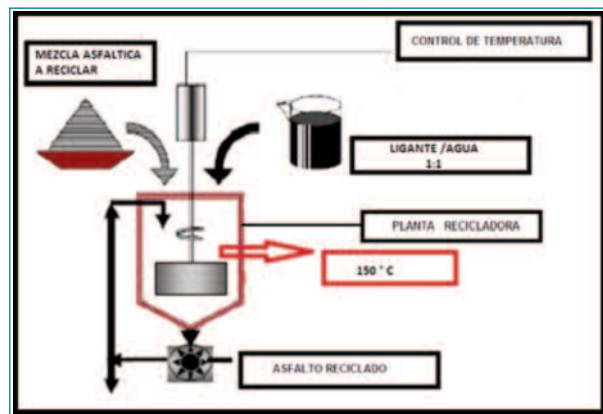


Figura 1. Diagrama de producción de asfalto reciclado.

ma, se ingresa en la planta recicladora el material fresado o extraído de faenas de mantenimiento anteriores con un desfase de tiempo de al menos 8 horas, buscando que ésta llegue a la temperatura de 150°C al momento de llevar a cabo la reparación (Figura 2). Luego, se procede con la demarcación y remoción de material presente en la zona del pavimento que se encuentra deteriorada a través de procedimientos manuales o mecánicos (Figura 3). Se busca obtener una zona con forma rectangular, la que comprenderá toda la zona deteriorada que presente fallas. Posteriormente, se remueve el material suelto, para luego recubrir la superficie a reparar con un riego de imprimación o adherencia (Figura 4), procurando que la emulsión utilizada haya quebrado o en el caso de un riego de imprima-



Figura 2. Carguío de Tolva de Planta Recicladora.



Figura 3. Remoción área deteriorada.

# Experiencia de uso y estudio del comportamiento mecánico de mezcla con 100% RAP para operaciones de mantenimiento vial



Figura 4. Área a reparar con riego de liga.



Figura 5. Distribución mezcla asfáltica reciclada.



Figura 6. Compactación de mezcla asfáltica reciclada.



Figura 7. Reparación de área deteriorada.

ción haya penetrado. La mezcla asfáltica reciclada se extiende y nivela mediante rastrillos, colocando una cantidad de mezcla que sobresalga al menos unos 6 mm sobre el pavimento circundante (Figura 5). Luego, se prosigue con la compactación que se realiza con un rodillo neumático o liso de 3 a 5 to-

neladas de peso (Figura 6). Finalmente, se termina la reparación del bache y después se permite la circulación de los vehículos una vez que la mezcla asfáltica se encuentre a temperatura ambiente (Figura 7).

## 2.2 Ventajas que tiene la técnica de mantenimiento de baches con el uso de material reciclado.

- Reutilización de un 100% del material de desecho y/o fresado de un pavimento asfáltico.
- Conciencia ambiental, al no contaminar los suelos con hidrocarburos.
- Disminución del volumen de botaderos.
- Ahorro en costos de transporte.
- Reducción en costos de reparación.
- Ahorro en materias primas (asfalto y áridos).
- Disminución de la extracción de áridos en los cauces de ríos.
- Disminución en tiempos de intervención en Carreteras.
- Disminución de la producción de CO<sub>2</sub> (Huella de Carbono).
- Utilización de una metodología que aplica el concepto de economía circular.
- Mayor durabilidad de las intervenciones de mantenimiento.

## 3. RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS CONTROLES EN SITU

Las mezclas asfálticas utilizadas para capa de rodadura de las zonas intervenidas poseen un contenido de asfalto del orden de un 5,0% - 5,3%, s/a. Ahora bien, el RAP respecto al pavimento asfáltico original, tiene una pérdida de su contenido de asfalto en el tiempo, debido a la erosión generada en su vida de servicio, ocasionada por acción del tránsito y el clima. Por ende, para su utilización es necesario compensar esta pérdida con la incorporación de un cemento asfáltico virgen. En el mismo contexto, el ligante asfáltico adherido a los áridos en el RAP, al haber estado expuesto durante la vida en servicio del pavimento a cambios de temperatura, oxígeno y rayos UV (entre otros), éste sufrió un proceso de oxidación y envejecimiento. Esto significa que, al utilizar RAP en una nueva mezcla, ésta tendría un comportamiento más rígido lo que reduciría su flexibilidad a bajas temperaturas. Es por esto que, para su utili-

Tabla 1. Contenidos de asfaltos.

Reciclado de Pavimento Asfáltico (RAP)		Mezcla Asfáltica Reciclada	
Km	Contenido de Asfalto (%)	Contenido de Asfalto (%)	Km
833,000	4,19	5,28	787,700
836,000	4,03	5,06	701,400
587,000	4,89	5,10	686,400
587,000	4,75	5,65	588,000

zación es necesaria la incorporación de un agente en la mezcla asfáltica que actué como rejuvenecedor. Con el fin de conseguir una mezcla cuyo contenido de asfalto sea similar al establecido por diseño para una capa de rodadura, se considera la adición de un ligante asfáltico diluido en agua en el proceso de calentamiento del RAP, con la finalidad de rejuvenecer y recu-

perar (en parte) las propiedades mecánicas que se vieron afectadas por el envejecimiento de la mezcla y también en busca de un contenido óptimo de cemento asfáltico. Lo anterior, se puede observar en la Tabla 1, donde se muestra el contenido de asfalto del RAP y el de la mezcla luego que se le incorpora el ligante diluido.

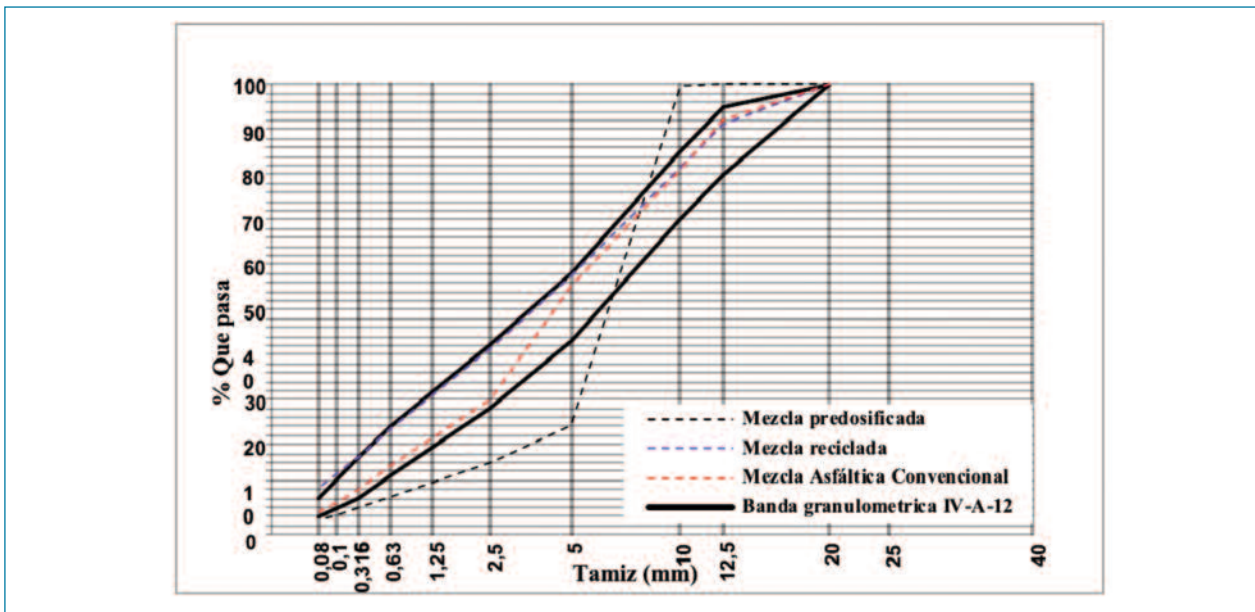


Figura 8. Granulometría de mezclas fabricadas en laboratorio.

Tabla 2. Control de compactación

Km	Km	Km
787,700	97%	97%
701,400	97%	99%
686,400	97%	100%
588,000	97%	98%

# Experiencia de uso y estudio del comportamiento mecánico de mezcla con 100% RAP para operaciones de mantenimiento vial

## 3.1 Control de compactación

Las mezclas asfálticas recicladas con 100% RAP mostraron tener buena compactabilidad, obteniendo densidades mayores a las exigidas en las especificaciones chilenas establecidas en el Manual de Carreteras. En la mayoría de los casos, las mezclas con altos contenidos de RAP tienden a tener menor trabajabilidad y por ende una menor compactabilidad, debido al aumento de la viscosidad del ligante asfáltico. Pero, con la adición del ligante asfáltico diluido se controló este fenómeno.

## 3.2 Granulometría

Por lo general, la granulometría para una mezcla asfáltica con un 100% de material reciclado tiene variabilidad. Esto se debe a que el material utilizado no es siempre homogéneo y sus características dependen del lugar de extracción, el equipo fresador o extracción utilizada y el estado del pavimento. En la Figura 8 es posible observar la granulometría promedio de la mezcla reciclada con 100% RAP, junto con la de una mezcla semidensa convencional y la de una mezcla predosificada en frío, que fueron con las cuales se comparó sus propiedades mecánicas.

## 4. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Para una mejor evaluación de las propiedades mecánicas de las mezclas recicladas con 100% de RAP utilizadas en las faenas de mantenimiento se decidió compararlas con dos mezclas; una mezcla predosificada y una mezcla convencional tipo semidensa diseñada en laboratorio. La mezcla reciclada, corresponde a una mezcla fabricada con el material fresado o demolición de una capa de rodadura deteriorada cuya granulometría se observa en la Figura 8. A esta mezcla en su fase de fabricación in situ se le adicionó ligante diluido en agua, tal como se explicó en el apartado anterior. La mezcla asfáltica predosificada, tenía un contenido de asfalto de 5.6% s/a y una granulometría donde predomina la fracción 3/8", tal como se observa en la Figura 8, y dentro de su formulación se utilizó un cemento asfáltico líquido AC 60-70 con polímeros modificados y reactivos (de acuerdo a lo informado por el fabricante). La mezcla asfáltica convencional, correspondió a una mezcla semidensa diseñada en laboratorio con una granulometría IV-A-12 (Figura 8), que cumplió con las especificaciones exigidas en Chile para capa de rodadura. En esta última mezcla se utilizó un ligante asfáltico CA-24 (contenido de ligante de 5,2% s/a) y áridos de origen fluvial. Las mezclas fueron com-

pactadas con un compactador giratorio, según la metodología establecida en la norma UNE-EN 12697-31. A todas las mezclas se les aplicó la misma energía de compactación (100 giros a 600 KPa de presión). Las mezclas predosificadas compactadas en frío, se dejaron en reposo en torno a 30 min y luego fueron sometidas a un curado en horno a 60°C por un periodo de 72 hrs [13]. Todas las mezclas fueron evaluadas en las propiedades de módulo de rigidez, resistencia a la tracción indirecta, deformación permanente y resistencia a la fisuración por medio de los siguientes ensayos:

## 4.1 Módulo de rigidez

Para evaluar la rigidez de las mezclas, se utilizó la metodología detallada en la norma española UNE EN-12697-26. Anexo C. Ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas (IT-CY). Este procedimiento de ensayo consiste en la aplicación de impulsos de carga a lo largo del plano diametral de la probeta cilíndrica. Una prensa multi ensayos registra la deformación diametral horizontal de la probeta durante la aplicación de cada impulso de carga. La temperatura considerada para la realización de los ensayos fue de 5°C y 20°C con una precisión de  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ .

## 4.2 Resistencia a tracción indirecta

Para evaluar la resistencia a tracción indirecta (RTI), se utilizó la metodología detallada en la norma española UNE EN-12697-23. Esta metodología de ensayo busca determinar la resistencia máxima a la tracción indirecta de probetas cilíndricas mediante la aplicación de una carga diametral de  $50\pm 2$  mm/min, hasta conseguir la rotura del material. Las probetas fueron acondicionadas en una cámara térmica a la temperatura de  $5^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  por un periodo de 2 horas.

## 4.3 Resistencia a la fisuración

Para medir esta propiedad se utilizó el ensayo FENIX. Este procedimiento de ensayo consiste en la aplicación de un esfuerzo a tracción directa a la mitad de una probeta cilíndrica entallada en su zona central. La probeta se secciona por la mitad y se le realiza una entalla de 5 (mm) a lo largo de su plano diametral y así poder inducir el plano de fallo. Posteriormente, mediante un pegamento epóxico, se fijan unas placas de acero sobre las caras planas separadas por la entalladura. Una vez fijadas las placas, se procede a fijar a los soportes de la prensa, lo cual permite un movimiento de rotación respecto de las fijaciones. La temperatura considerada para la realización de los ensa-

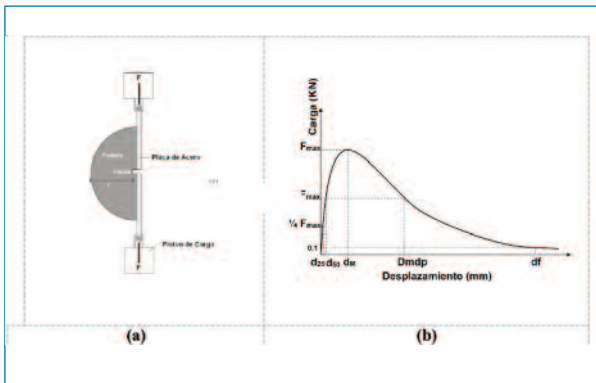


Figura 9. Ensayo FENIX. (a) Montaje ensayo Fénix, (b) Gráfica carga versus desplazamiento [14].

Los resultados fueron de 5°C con una precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$  a una velocidad de desplazamiento constante de 1 mm/min hasta llegar a la rotura de la probeta [14].

## 5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La evolución de la altura de la probeta varía en función del tipo de mezcla a compactar. Si se observa las curvas de la Figura 10, es posible notar que las mezclas, ya sea en probetas de 100 mm o 150 mm, describen el mismo patrón de compactación. Las probetas fabricadas con mezclas predosificadas, compactadas a temperatura ambiente, presentaron una mayor altura en todo el proceso de compactación. Esto debe estar asociado a la falta de árido correspondiente a la fracción fina, puesto que en la granulometría de este tipo de mezcla predomina la fracción 3/8". Por otro lado, las mezclas compactadas en caliente (145 °C) presentaron menores alturas debido a que sus granulometrías fueron más continuas, mostrándose más densas las mezclas recicladas.

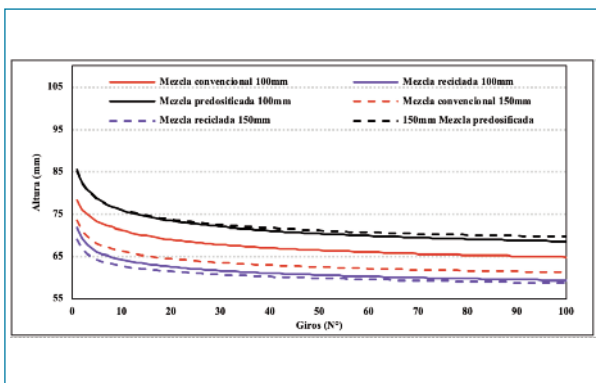


Figura 10 Evolución de la altura de la mezcla según diámetro de la probeta.

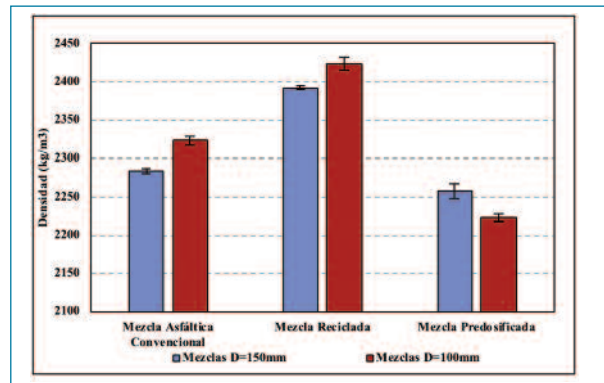


Figura 11. Densidad de probetas fabricadas de D=100mm y D=150mm.

Como complemento de lo anterior, en la Figura 11 se observa que las mezclas compactadas en caliente poseen una densidad por sobre la de la mezcla predosificada y compactada en frío. En la Figura 12(c) es posible observar de forma visual que la mezcla predosificada tiene una apariencia más abierta en relación a las mezclas compactadas en caliente. Entre estas últimas, la mezcla convencional (Figura 12(a)) se observa más abierta que la mezcla reciclada (Figura 12(b)).

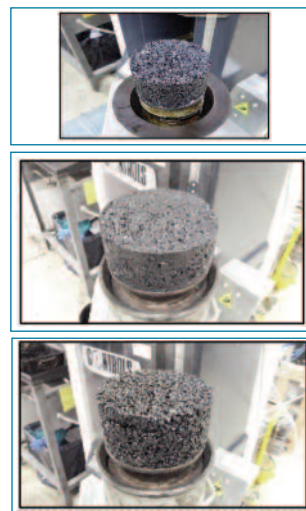


Figura 12. Probetas 150mm. (a) Mezcla convencional, (b) Mezcla reciclada, (c) Mezcla predosificada.

### 5.1 Módulo de rigidez.

En la Figura 13 se puede observar los resultados obtenidos tras evaluar las distintas mezclas al ensayo de módulo de rigidez. Todas las mezclas fueron evaluadas a 5°C y a 20°C. Sin embargo, la mezcla predosificada no arrojó resultados debido a su alto grado de deformación, que no permitió recibir las cargas de preconditionamiento establecidas en el procedimiento del ensayo, según lo especificado

# Experiencia de uso y estudio del comportamiento mecánico de mezcla con 100% RAP para operaciones de mantenimiento vial

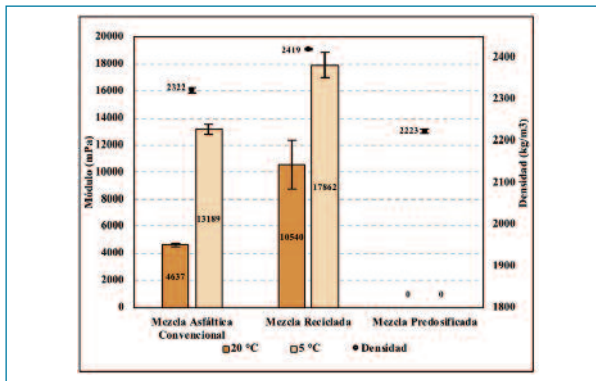


Figura 13. Módulo de rigidez medido a 5°C y 20°C.

en la normativa española UNE EN-12697-26, anexo C. En la Figura 14 se puede observar el montaje del ensayo para cada tipo de mezcla. En cuanto a las mezclas compactadas en caliente, es posible observar que la mezcla reciclada posee un módulo de rigidez superior al de la mezcla convencional para ambas temperaturas evaluadas, 5°C y 20°C. Esto se debe a que la mezcla está compuesta de material reciclado, que cuenta con un alto porcentaje de ligante aportado por el RAP, lo que le entrega un mayor grado de rigidez a la mezcla. También, se observa que la densidad de la mezcla se encuentra directamente relacionada con el módulo de rigidez, puesto que, la mezcla reciclada tiene una densidad de 2.419 kg/m<sup>3</sup> y un módulo a la temperatura de 5°C y 20°C de 17.862 MPa y 10.540 MPa, respectivamente. Estos valores son superiores a los obtenidos por la mezcla convencional que registró una densidad de 2.322 kg/m<sup>3</sup> y valores de módulo a la temperatura de 5°C y 20°C de 13.189 mPa y 4.637 mPa, respectivamente.

## 5.2 Tracción Indirecta

Los resultados referidos al ensayo de tracción indirecta conciden con los resultados obtenidos por el ensayo de módulo de rigidez, puesto que la mezcla predosificada no registró carga a temperaturas intermedias. Por ende, las mezclas solo se evaluaron a la temperatura mínima exigida por la norma española UNE EN-12697-23, que es de 5°C. Bajo esta temperatura de ensayo, en la Figura 15(a) es posible observar que la mezcla predosificada registra una baja oposición a la carga generada por la prensa de ensayo. Esto indica que la mezcla tiene un bajo grado de cohesión, mientras que las mezclas compactadas en caliente describen un comportamiento con un mayor grado de oposición a la carga aplicada por la prensa, lo que significa que estas mezclas tienen una mayor cohesión interna. Sin embargo, la mezcla reciclada destaca su comportamiento al admitir en torno a un 30% más de carga que la mezcla convencional. Esto últi-

mo, se contradice con lo que se muestra en la Figura 15(b), donde es posible observar que la resistencia a la tracción indirecta (ITS) es mayor en la mezcla reciclada con 3.472 kPa, seguida por la mezcla convencional con 2.592 kPa y finalmente por la mezcla predosificada con 135 kPa.

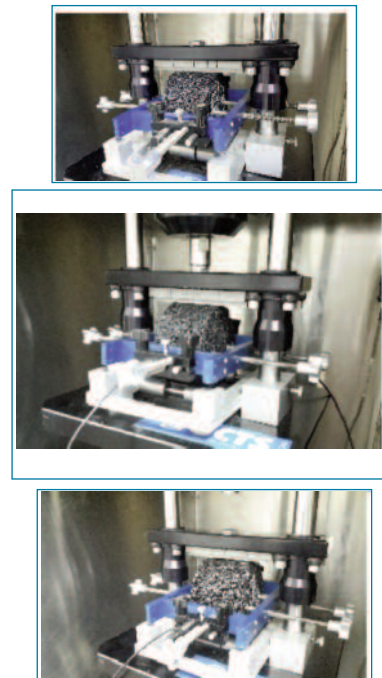


Figura 14. Ejecución del ensayo de Módulo de Rigidez (a) Mezcla convencional, (b) Mezcla reciclada, (c) Mezcla predosificada.

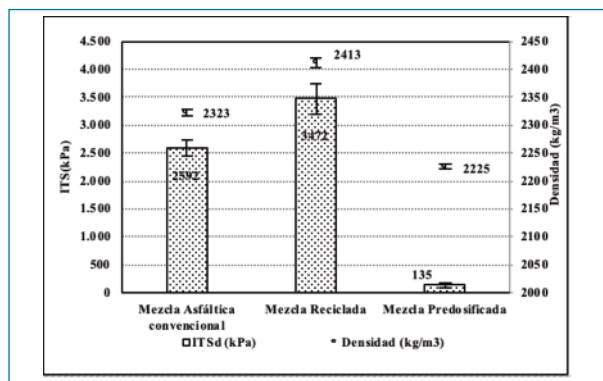
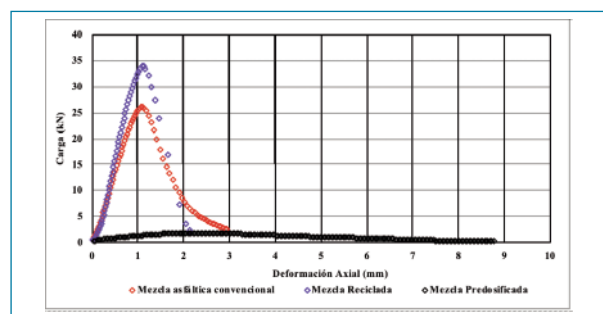


Figura 15 (a) Carga vs deformación, (b) Resistencia a la tracción indirecta.



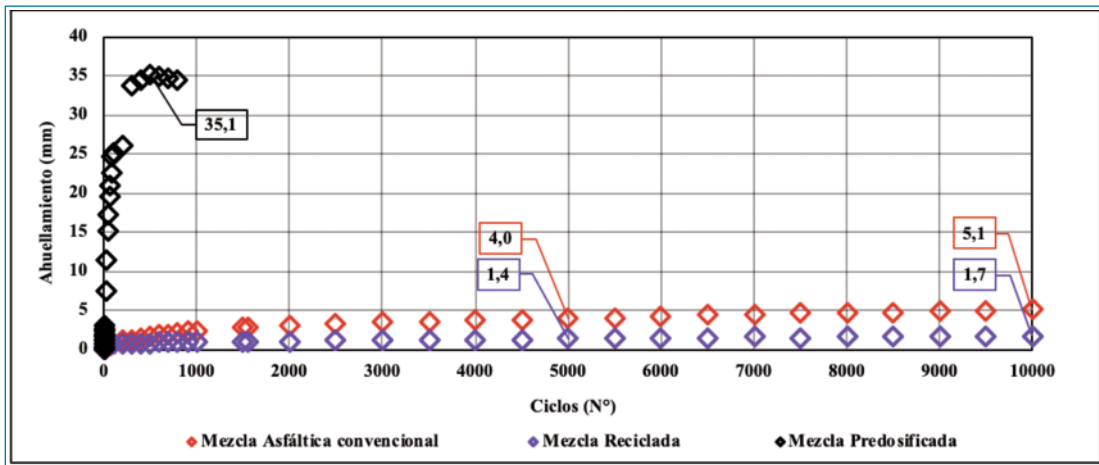


Figura 16. Resultados del ensayo de rodadura Hamburgo Wheel Tracking a 50 °C.



Figura 17. (a) Ahuellamiento de las mezclas evaluadas. (a) Mezcla convencional (b) Mezcla Reciclada (c) Mezcla predosificada.

### 5.3 Deformaciones permanentes

La Figura 16 muestra la evolución del ahuellamiento registrado para las distintas mezclas evaluadas. Se puede observar que en la mezcla predosificada, no se desarrolla la etapa de consolidación, puesto que ésta no opone ninguna resistencia a la deformación generada por la aplicación de una carga en movimiento, lo que genera su ahuellamiento excesivo y no una densificación de la mezcla. Como la mezcla no tuvo un buen comportamiento inicial, no fue posible evaluar con esta metodología de ensayo su comportamiento frente al daño por humedad puesto que no se observó la presencia de stripping. Con respecto a las mezclas compactadas en caliente, ambas

mezclas describieron curvas con un comportamiento similar, pero la mezcla con 100% de reciclado registró un ahuellamiento final de 1,7 mm, menor al de la mezcla convencional. Esto se puede deber a la mayor rigidez aportada por el asfalto que tiene el RAP, sumado a la mayor densidad de la mezcla. Cabe señalar, que ambas mezclas no registraron presencia de stripping. En la Figura 17 es posible observar las probetas del ensayo de rodadura Hamburgo Wheel Tracking, donde la mezcla predosificada posee un deficiente comportamiento para este tipo de ensayo y propiedad evaluada.

Tabla 3. Resultados del ensayo Fenix según distintos parámetros de estudio.

	Carga Máxima a tracción	Índice de Rigidez a Tracción	Desplazamiento 50% Fmax postpico	Energía disipada	Índice de Tenacidad
	Fmax	IRT	Δmdp	GD	IT
	kN	kN/mm	mm	J/m <sup>2</sup>	-
Mezcla Asfáltica Convencional	2,28	7,68	0,59	635	88
Mezcla Reciclada	2,54	10,86	0,45	394	25
Mezcla predosificada.	0.03	-	-	-	-

# Experiencia de uso y estudio del comportamiento mecánico de mezcla con 100% RAP para operaciones de mantenimiento vial

## 5.4 Ensayo Fénix.

En la Tabla 3 y Figura 18 se muestran los resultados de las distintas mezclas evaluadas frente a la resistencia a la fisuración térmica a una temperatura de 5°C. Es posible observar que la mezcla predosificada no tiene la capacidad de resistir esfuerzos a tracción, y por ende, los parámetros calculados referente a esta mezcla no son considerados puesto que tienden a cero. Respecto a las mezclas compactadas en caliente, es posible observar que la mezcla reciclada presenta una mayor resistencia a la fisuración (Fmax) que la mezcla convencional. Además, esta mezcla tiene una mayor rigidez (IRT), lo que coincide con los resultados obtenidos de módulo de rigidez a baja temperatura. Sin embargo, la mezcla convencional presenta una mayor capacidad de deformación ( $\Delta mdp$ ) respecto a la mezcla reciclada, con un 0,59 mm respecto a 0,45 mm, lo que significa que la mezcla convencional tiene una mayor capacidad de flexión a bajas temperaturas. En relación a los parámetros de energía disipada e índice de tenacidad, se puede indicar que la mezcla convencional permite disipar una mayor cantidad de energía en el proceso de fisuración respecto a la mezcla reciclada, y además tiene un mayor índice de tenacidad, lo que significa que la mezcla convencional requiere emplear más trabajo por unidad de área para que la mezcla se fisure.

tecnológica, innovadora y con gran potencial, que aporta en el área ambiental de la industria de pavimentación vial.

- La mezcla reciclada con un 100% de RAP utilizada en faenas de mantenimiento de las estructuras de pavimento presenta un comportamiento en sus propiedades mecánicas superior a la mezcla predosificada en frío, que es la utilizada usualmente para intervenciones de bacheo.
- El uso de esta metodología de reciclado al 100% in situ permite mejorar las faenas de mantenimiento vial, por medio de una técnica sostenible, durable en el tiempo y que facilita realizar operaciones de mantenimiento en cualquier época del año.
- Reutilización de un 100% del material de desecho y/o fresado de un pavimento asfáltico.
- Conciencia ambiental, al no contaminar los suelos con hidrocarburos.
- Disminución del volumen de botaderos.
- Ahorro en costos de transporte.
- Reducción en costos de reparación.
- Ahorro en materias primas (asfalto y áridos).
- Disminución de la extracción de áridos en los cauces de ríos.

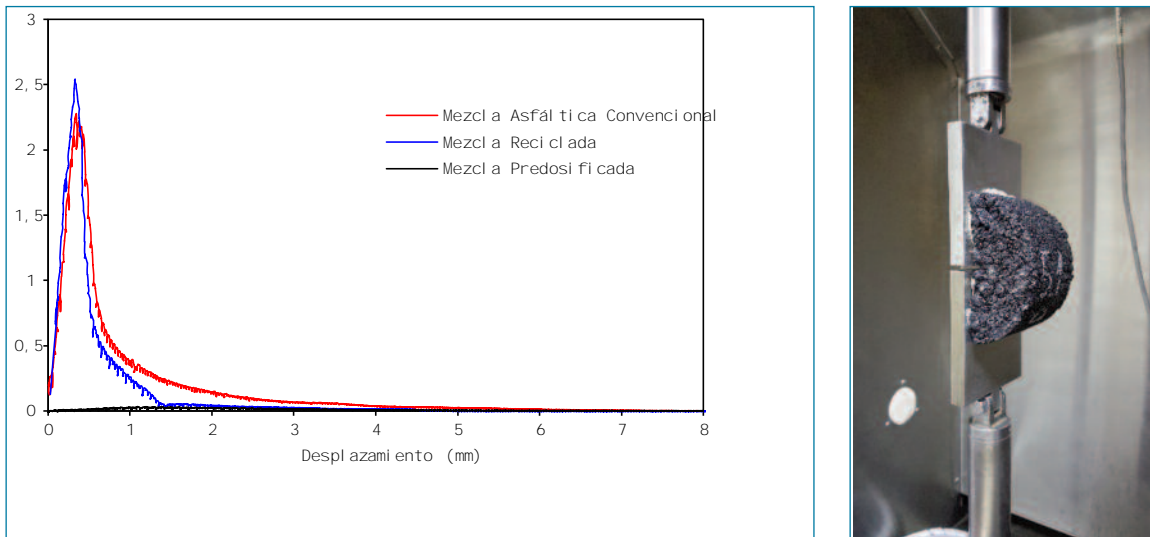


Figura 18. Ensayo Fénix a la temperatura de 5°C.

## 6. CONCLUSIONES

- El mantenimiento de carreteras con la utilización de mezclas asfálticas recicladas corresponde a una solución

- Disminución en tiempos de intervención en Carreteras.
- Disminución de la producción de CO2 (Huella de Carbono).
- Utilización de una metodología que aplica el concepto

de economía circular.

- Mayor durabilidad de las intervenciones de mantenimiento.

## 7. REFERENCIAS

- [1] F. Wulff, J. Kogan, and J. Saavedra, *Mantenimiento Vial. Informe sectorial*. 2010.
- [2] A. Godoy and R. Ramírez, "Patología de pavimentos rígidos de la ciudad de asunción," vol. Facultad d, 2006.
- [3] W. Wang, L. Wang, H. Xiong, and R. Luo, "A review and perspective for research on moisture damage in asphalt pavement induced by dynamic pore water pressure," *Constr. Build. Mater.*, vol. 204, pp. 631–642, 2019.
- [4] V. Antunes, A. C. Freire, and J. Neves, "A review on the effect of RAP recycling on bituminous mixtures properties and the viability of multi-recycling," *Constr. Build. Mater.*, vol. 211, pp. 453–469, 2019.
- [5] A. Wang, S. Shen, X. Li, and B. Song, "Micro-surfacing mixtures with reclaimed asphalt pavement : Mix design and performance evaluation," vol. 201, pp. 303–313, 2019.
- [6] R. Cao, Z. Leng, and S. Hsu, *Comparative eco-efficiency analysis on asphalt pavement rehabilitation alternatives : Hot in-place recycling and milling-and-filling*, vol. 210. Elsevier Ltd, 2019.
- [7] B. Ju, D. Kim, S. Keun, and Y. R. Kim, "Spray injection patching for pothole repair using 100 percent reclaimed asphalt pavement," *Constr. Build. Mater.*, vol. 166, pp. 445–451, 2018.
- [8] F. Xiao, S. Yao, J. Wang, X. Li, and S. Amirkhanian, "A literature review on cold recycling technology of asphalt pavement," *Constr. Build. Mater.*, vol. 180, pp. 579–604, 2018.
- [9] J. Button and C. Estakhri, *Little DN Performance and cost of selected hot in-place recycling Projects TRB, Transportation Research Record, N°.1507, National R. Washington DC, 1995*.
- [10] H. Ali, L. Myers, and A. Welker, "Performance of hot in-place recycled Superpave mixtures in Florida," *Constr. Build. Mater.*, vol. 49, pp. 618–626, 2013.
- [11] Ministerio de Obras Públicas, *Manual de carreteras. Volumen N°7. Mantenimiento Vial.*, 2018th ed. 2018.
- [12] Servicio de vivienda y Urbanismo de la Región Metropolitana, *Manual de Obras de Vialidad, Pavimentación y Aguas Lluvias 2018 Capítulo N°12*. Santiago, 2018.
- [13] A. Nosetti, F. Pérez-Jiménez, and A. Martínez, "Estudio de las mezclas bituminosas Recicladas en frío con emulsión con el compactador giratorio SUPERPAVE," XVI CI-LA – Congr. Ibero-Latinoamericano del Asf. 20-25 Noviembre 2011, Rio Janeiro, Bras., 2011.
- [14] G. Valdés, F. Pérez-Jiménez, and R. Botella, "Ensayo Fénix, una Nueva Metodología para Medir la Resistencia a la Fisuración en Mezclas Asfálticas," *Rev. la Constr.*, vol. 8, no. 1, pp. 114–125, 2009.
- [15] AASHTO, *Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) - AASHTO T324-14*. 2014.