

IAG390-01-2013
ESTUDIO EN LABORATORIO SOBRE MEZCLAS DE PAVIMENTOS
ASFALTICOS RECICLADOS CON ASFALTO ESPUMADO
ESTUDO DE LABORATÓRIO DE RECICLADO ASFALTO MISTURAS
PAVIMENTAÇÃO COM BETUME ESPUMA

Fernando Paniagua R.

Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería (*).

Santiago - Chile

Email: rfpaniagua@uc.cl

Álvaro González V.

Universidad del Desarrollo, Facultad de Ingeniería

Santiago - Chile

Email: aagonzalez@ingenieros.udd.cl

Guillermo Thenoux Z.

(*) Email: gthenoux@ing.puc.cl

Carlos López G.

(*) Email: calopez8@uc.cl

Resumen

En Chile, el método de diseño de mezclas para materiales reciclados (pavimentos flexibles) con Asfalto Espumado (AE) se realiza mediante el ensayo mecánico de Tracción Indirecta (ITS). Se ha observado que en la práctica este método entrega tendencias poco claras, haciendo difícil definir el contenido óptimo de AE en estos materiales. Esta investigación de laboratorio buscó caracterizar mecánicamente las mezclas con AE bajo distintos modos carga y deformación, con el objetivo de determinar bajo que condición mecánica el contenido de AE afecta de mayor manera al desempeño de estos materiales. Además de una revisión de la literatura, se trabajó en laboratorio se llevando a cabo ensayos tradicionales (ITS y UCS) y ensayos complementarios (MrTx, CD, ITFS y ITMS), cuyos resultados fueron analizados y discutidos. Los resultados obtenidos en los ensayos tradicionales demostraron ser pocos precisos en la determinación de contenidos óptimos de AE, sin embargo, se observó que estas pruebas sí son capaces de evaluar otras propiedades mecánicas. Los ensayos complementarios definieron mejores tendencias dado por una mejor sensibilización en sus resultados ante los distintos contenidos de AE, en comparación con los tradicionales, en especial aquellas pruebas que someten al material a cargas repetidas bajo deformación controlada (ITFS e ITMS). El ensayo de CD no estandarizado para este tipo de materiales, midió únicamente esfuerzos de cizalla (cohesión) en la matriz fina de estas mezclas. Se concluye que la actual metodología dosificación dado por los ensayos tradicionales debe redefinirse o complementarse.

Resumo

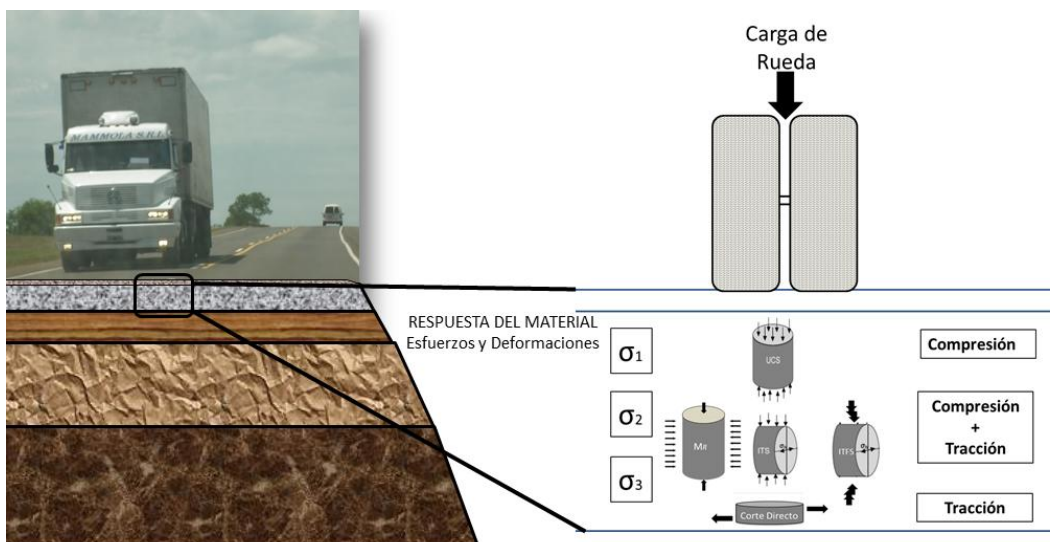
No Chile, o método de projeto de mistura de materiais reciclados (pavimentos flexíveis) com espuma de asfalto (AE) é feita usando o teste à tração mecânica (ITS). Tem sido observado que, na prática este método de entrega tendências pouco claras, o que torna difícil definir o teor ótimo

de AE nestes materiais. Este laboratório de pesquisa teve como objetivo caracterizar mecanicamente AE mistura sob carga e modos de deformação, a fim de determinar em que condições mecânicas conteúdo afeta mais AE caminho para o desempenho desses materiais. Além de uma revisão da literatura, que trabalhou no laboratório que realiza testes tradicionais (ITS e UCS) e testes adicionais (MrTx, CD, ITFS e ITMS), os resultados foram analisados e discutidos. Os resultados obtidos em ensaios tradicionais revelou poucos determinação precisa do conteúdo ótimos AE, no entanto, notar-se que estes testes eles próprios são capazes de avaliar outras propriedades mecânicas. As melhores tendências definidas testes adicionais dadas por um melhor conhecimento dos seus resultados para os diferentes conteúdos da AE, em comparação com os tradicionais, especialmente aqueles testes que o material submetido a uma carga repetida sob deformação controlada (ITFS e ITMS). Ensaio CD padronizado nenhum desses materiais , apenas forças de cisalhamento medidos (coesão) nessas misturas variedade bem. Conclui-se que a atual metodologia para os testes dadas dose deve ser redefinido ou completado tradicional.

INTRODUCCIÓN

El alto crecimiento económico y social en Latinoamérica hace necesaria acciones que conserven y desarrollen en forma más óptima nuestra infraestructura física. En el caso de los caminos, un alto porcentaje de nuestra red vial pavimentada se encuentra deteriorada, siendo varias las opciones para rehabilitarlas o recuperarlas. El reciclado de pavimentos asfálticos con asfalto espumado (AE) es una opción de rehabilitación sustentable que se ha masificado en algunos países. En Chile se ejecutan más de 100 km de reciclados con AE al año, en el norte del país. La reutilización (reciclado) de los materiales siempre genera incertidumbre en comparación con el material virgen que se deja de usar (Tighe. et al, 2011), pero la sustentabilidad en cualquier rubro de la construcción debe preverse en todo el ciclo de vida de los proyectos (Thenoux. et al, 2007). Todo proyecto vial requiere de ensayos mecánicos de laboratorio que caractericen las propiedades de los materiales (Figura 1), siendo objeto de esta investigación discutir sobre algunos de ellos, buscando aportar al diseño de mezclas y a su vez que este provea de mejores datos al diseño estructural para garantizar un desempeño mínimo (período de diseño) en terreno.

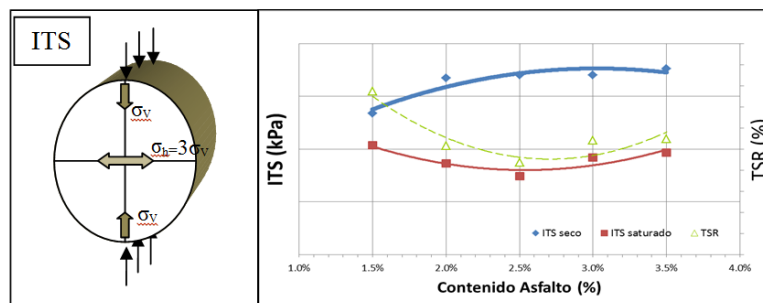
Figura 1: Representación de la relación pavimento/material y ensayos mecánicos



Previo a la ejecución del proyecto de reciclado en frío con AE se debe definir características del material a reciclar y contenidos de los aditivos a incorporar, esto se denomina diseño de mezclas o dosificación, que debe posteriormente debe ser utilizado en el diseño estructural para definir espesores y vida útil mínima. El diseño de mezclas utilizado en Chile, evalúa a estos materiales mecánicamente mediante el ensayo de Tracción Indirecta (ITS), cuyos resultados no necesariamente definen los contenidos óptimos de los aditivos, comúnmente AE y cemento. Esta observación o cuestionamiento se demuestra en la gráfica en la Figura 2, que representa resultados típicos obtenidos en dichos ensayos.

Los resultados ITS que pudiesen definir resistencias (máximas o mínimas) según los distintos contenidos de AE muchas veces no sensibilizan ante dichos porcentajes. Dicho de otra manera, las tendencias obtenidas se reflejan en curvas planas o con diferencias marginales que generan incertidumbre al diseñador (ej.: dos valores máximos para dos contenidos de AE diferentes y no consecutivos). Respecto a las metodologías de diseños de mezclas, existen varias, siendo unas de las más utilizadas la Guía Sudafricana para Estabilización con Asfalto (Asphalt Academy, 2009). Se realizó una detallada revisión de literatura donde los resultados en pistas tratadas y la experiencia han demostrado que aquellas propiedades de los materiales obtenidos en laboratorio, no son totalmente consistentes en relación a los resultados de campo como la industria desea (Collings, 2001).

Figura 2: Configuración del Ensayo ITS y típica tendencias de resultados



PROGRAMA DE ENSAYOS EN LABORATORIO

Diseño Experimental

El estudio experimental en laboratorio se genera desde la obtención de materiales que simulen el reciclado profundo de pavimentos asfálticos locales (Figura 3), que consta en la trituración de capas de la estructura del pavimento: carpeta de rodado (concreto asfáltico) y base granular (BG). Los espesores de trituración adoptados se consideran típicos para proyectos en Chile; a los mismos se le incorporan los dos agentes estabilizadores: asfalto espumado y filler activo.

Dicha simulación de reciclado define el aporte en porcentaje de los materiales triturados. Se optó por generar 3 tipos de mezclas dentro de la faja recomendada por la Guía TG2-2009, identificada en la Figura 3(b), cuya variación se da en los contenidos de fino (Pasante #200). Varias son las variables del diseño experimental, todas se definen en el Factorial de Diseño en laboratorio (Tabla 1). La matriz factorial buscó ejecutar dos grupos de ensayos “Tradicionales” y “Complementarios” en laboratorio con cuatro variables y con un número de réplicas que valide estadísticamente cada ensayo.

[Escribir texto]

La matriz definida busca sensibilizar (encontrar variaciones para distintos contenidos) resultados según los ensayos mecánicos, para dos variables principalmente:

- el porcentaje finos del material granular y
- el porcentaje de asfalto espumado incorporado

Cada probeta se fabricó y ensayó a una temperatura de 20 ± 5 °C. El método de compactación y dimensiones de las probetas se muestran en la Tabla 2. En todos los casos se inyectó AE por medio del equipo de espumación exclusivo (WLB 10) y luego mezclado (WLM 30).

Figura 3: (a) Representación del reciclado profundo del pavimento asfáltico adoptado, con espesores y densidades respectivas. (b) Granulometrías obtenidas de la trituration y adoptadas

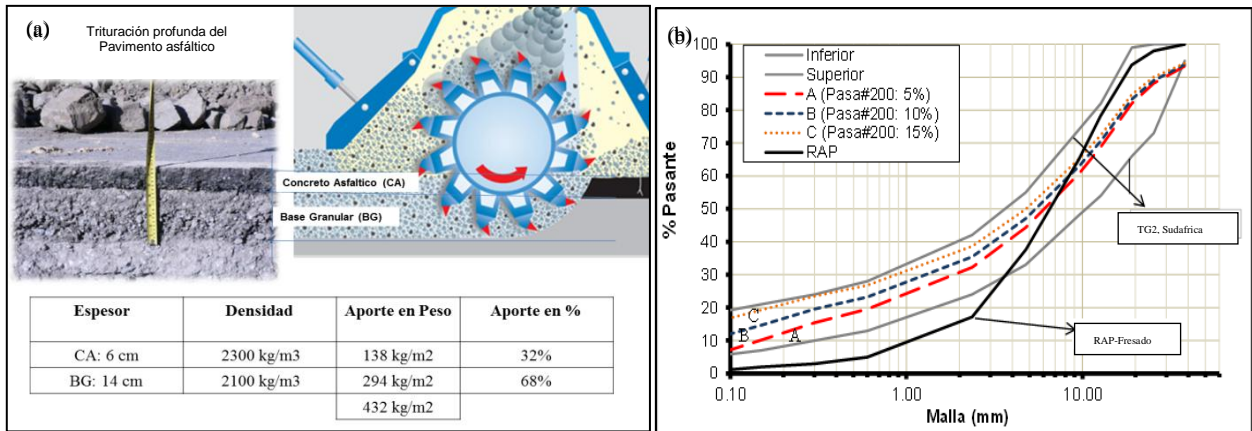


Tabla 1: Matriz Factorial de Estudio en Laboratorio

Variables		N° Niveles		Valores		
1	Graduación Granulométrica	3	A	5%	% Finos Pasante Tamiz 0,075mm (#200). N=1	
			B	10%		
			C	15%		
2	% Asfalto Espumado	4		0.00%	Agua espumación: 2,5% Temperatura Asfalto a inyectar: 160°C (Ver sección caracterización del AE). N=2	
				1.25%		
				2.50%		
				3.75%		
3	Tipo de Ensayo (asociado al método de fabricación)	5	2 Tradicionales	ITS Φ : 101,6 mm; h: 63,5mm Compactación Marshall. N=4		
				UCS Φ : 100 mm; h: 116 mm Compactación Proctor Modificado (PM). N=3		
		3 Complementarios	Módulo Resiliente (MR) Φ : 100 mm; h: 200 mm Compactación PM. N=2			
			Corte Directo (CD) Φ : 98,4 mm; h: 22-25 mm Adaptación similar al PM. N=4			
			Fatiga (ITFS) idéntico a ITS. N=3			
4	Condición de Ensayo	2		Seco	25°C, 2hs en horno	Curado: 72hs a 40°C en horno
				Saturado	25°C, 24hs en agua	

N: Número de Réplicas

[Escribir texto]

Tabla 2: Detalle de probetas según el tipo de ensayo

Probeta	Dimensiones	Compactación	N° Replicas
ITS (Tracción Indirecta)	Cilíndrico ($\varnothing = 101,6\text{mm}$; $h = 63,5\text{mm}$)	Martillo Marshall 75 golpes x cara	8 (4 Secas/4 Saturadas)
UCS (Compresión Simple)	Cilíndrico ($\varnothing = 100\text{mm}$; $h = 115\text{mm}$)	Proctor Modificado (PM) 25 golpes x 5 capas	6 (3 Secas/3 Saturadas)
MR (Módulo Resiliente)	Cilíndrico ($\varnothing = 100\text{mm}$; $h = 200\text{ mm}$)	PM 56 golpes x 5 capas	2 (2 Secas/2 Saturadas)
CD (Corte Directo)	Cilíndrico ($\varnothing = 98,5\text{mm}$; $h = 25\text{ mm}$)	PM (adecuado) 85golpesx1 capa	3 (3 Secas/3 Saturadas)
ITFS (Fatiga)	Cilíndrico ($\varnothing = 101,6\text{mm}$; $h = 63,5\text{mm}$)	Martillo Marshall 75 golpes x cara	8 (4 Secas/4 Saturadas)

Materiales

El material granular (BG) y el pavimento asfáltico reciclado (RAP) que simulan la trituración del pavimento, en este caso de la zona metropolitana de Santiago. El RAP fue obtenido de un fresado de una carpeta asfáltica deteriorada y los materiales de la BG de una planta de áridos. Tanto la BG y el RAP fueron separados en 11 tamaños según distintas mallas adoptadas, de manera a construir las tres curvas granulométricas definidas, y cuya variación se da en el sector fino. De esta forma se buscó asegurar el trabajo con los mismos materiales en todo el transcurso de la investigación. Las densidades máximas secas obtenidas de la combinación de estos materiales se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Datos de granulometrías o materiales utilizados

Granulometría	Fino % Pasante #200 (0,074mm)	Densidad Max. Seca [kg/m3]	Humedad Optima [%]
A	5	2.220	6.2
B	10	2.245	6.6
C	15	2.225	6.4

El cemento asfáltico utilizado es un CA 24 (PG 64-16), de uso comercial y normalmente utilizado en proyectos de reciclado en frío en Chile. La capacidad de generar AE del mismo se determinó midiendo el contenido óptimo de agua de espumación y temperatura de inyección, obteniéndose los siguientes valores que caracterizan la espuma asfáltica:

- Razón de Expansión (ER): 23 veces (Mínimo MOP=10 / TG2-2009=10)
- Vida Media ($\tau_{1/2}$): 7 segundos (Mínimo MOP=5 / TG2-2009=6)
- Índice de espumación (FI): 286 (Mínimo recomendado FI: 257)
- Agua de espumación: 3.5% (Máximo recomendado TG2-2009=3.5%)
- Temperatura: 160 °C MOP: Ministerio de Obras Publicas de Chile

El filler activo en todos los casos fue cemento hidráulico de uso comercial, denominado especial y cuyo acopio en laboratorio se renueva aproximadamente cada mes. Se aplicó un contenido 1% en casi todas las mezclas con filler activo y otras sin este.

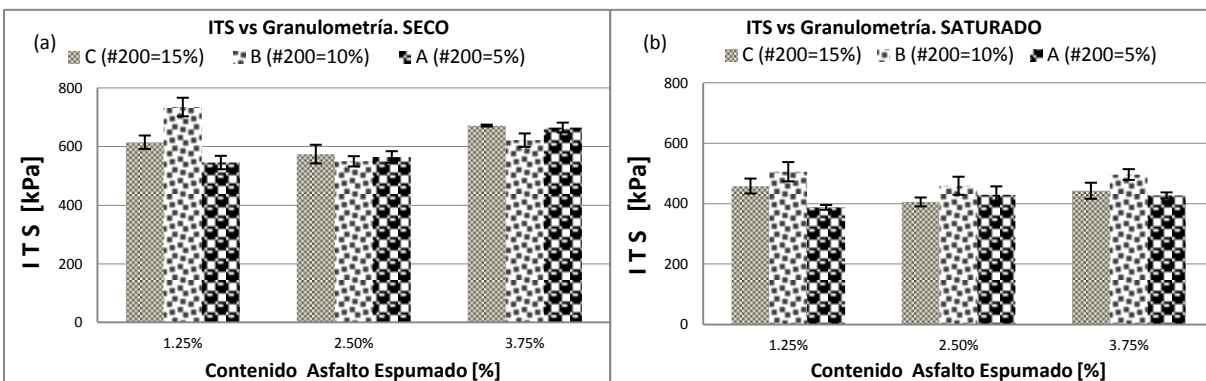
ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ensayos Tradicionales (ITS-UCS). *Tracción indirecta (ITS)*

Las Figuras 4 (a) y (b) resumen los resultados ITS obtenidos en las tres mezclas (granulometrías definidas en el factorial) de diseño en laboratorio, generándose las siguientes observaciones:

- Normalmente se considera al contenido de 2,5% de AE como valor en torno al cual debería estar el óptimo según la experiencia en Chile para ensayos ITS, sin embargo en esta investigación no se da dicho valor para ninguna de las 3 mezclas (A, B y C).
- De manera general, si bien existen valores máximos, estos no coinciden en un mismo contenido de AE para ambas condiciones de ensayo (seco o saturado)
- En la Mezcla A se tiene un ITS máximo seco (664 kPa) para un 3.75% de AE, siendo 15% y 18% mayor frente a los otros dos contenidos, de 2.5% (564) y 1.25% (545). En la condición saturada la diferencia es marginal, el ITS máximo 428 kPa se observa para un 2.5% de AE, frente al contenido de 3.75% de ITS: 427kPa, siendo el ensayo poco sensible.
- En la mezcla B, contrariamente a las otras dos granulometrías, se obtiene un máximo ITS seco (734 kPa) para un contenido de 1.25% de AE, el cual es 15% mayor al de 3.75% de AE y 25% mayor al de 2.5% de AE; nuevamente en la condición saturada las diferencias son marginales, obsérvese que para dos contenidos de AE no consecutivos (para 1.25%: 505 kPa y para 3.75%: 496 kPa)), se obtienen valores ITS muy similares.
- En la mezcla C, con mayor contenido finos se observa un mayor ITS seco (671 kPa) para un mayor contenido de AE (3.75%), siendo 8% y 15% mayor que los ITS con 1.25% y 2.5% de AE; en la condición saturada se da el máximo ITS (458 kPa) para el menor contenido de AE.
- El ensayo ITS, de manera general si identificó a la mejor granulometría, correspondiente a la mezcla B, siendo la mezcla con finos intermedios y con máxima densidad seca.

Figura 4: Resultados (a) ITS Secos vs. Granulometrías. (b) ITS Saturados vs Granulometrías



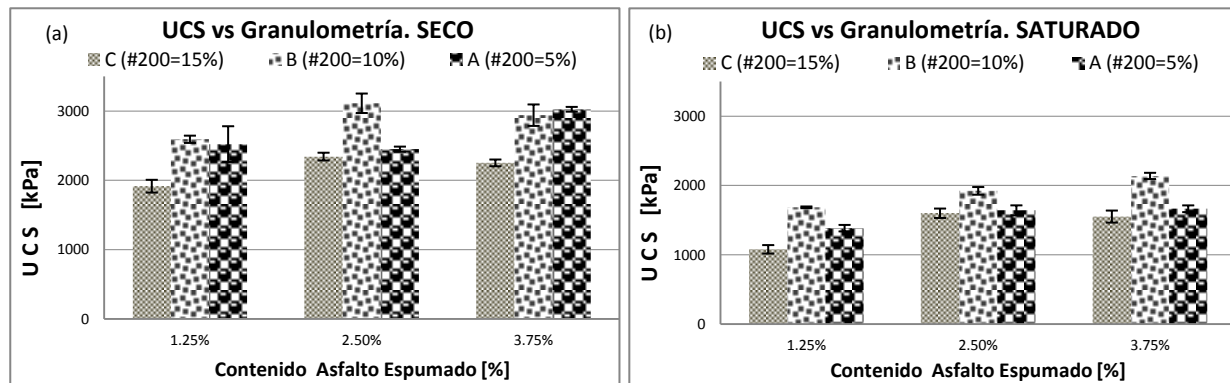
Compresión Simple No Confinada (UCS)

Los resultados UCS se muestran en la Figura 5, generándose las siguientes observaciones:

- La primera observación de manera general, es que los ensayos UCS tienen tendencias distintas a los ensayos ITS. Los valores UCS máximos se encuentran en torno al contenido de 2,5% de AE, en casi todos los casos. Puede observarse que los resultados UCS son más sensibles ante los cambios de contenidos de AE, además arrojan menor variabilidad.

- La mezcla A, tiene como máximo UCS seco: 3.025 kPa, con un contenido de 3,75% de AE, 20% mayor a los otros dos contenidos de AE, igualmente en la condición saturada el máximo se obtiene con un 3.75% de AE, con una diferencia marginal (2%) respecto al 2,5% de AE.
- Siendo la Granulometría B, la de mayor densidad seca (2.245 kg/m³), arroja mejores valores UCS, como era de esperar.
- En dos tipos de Granulometría, B y C, se obtiene un mayor resultado UCS con un 2,5% de AE, con valores de 3.112 kPa y 2.342 kPa respectivamente, en su condición seca. Igualmente en la condición saturada, la Granulometría Tipo B, arroja mayores valores UCS.

Figura 5: Valores UCS s/ Granulometría y % AE. (a) Secos y (b) Saturados.



Ensayos Complementarios (MrTx-CD-ITFS).

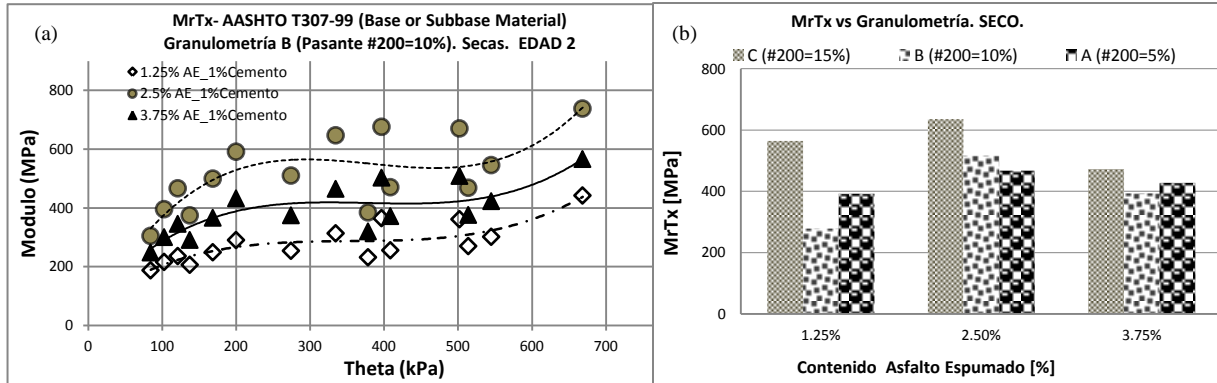
Módulo Resiliente Triaxial (MrTx).

Los ensayos de MrTx someten a las probetas con AE a cargas repetidas con presiones de confinamiento bajo un comportamiento cuya deformación es recuperable (elástica). No se somete a las probetas necesariamente a un estado de tensión bajo esfuerzos de tracción máximos, siendo quizás esta una de las principales propiedades que el AE pudiese aportar (Fu. et al, 2009). Los resultados se resumen en la Figura 6 (b). El ensayo se llevó a cabo en condiciones secas y saturadas para distintas presiones de confinamiento siguiendo el estándar AASHTO T307-99 Resilient Modulus Test for Base/Subbase Material. Se realizan las siguientes observaciones:

- Cada ensayo MrTx se promedia de manera definir tendencias, esto se muestra en la Figura 6 (b), buscando encontrar variabilidad entre las distintas mezclas y contenidos de AE en la condición seca. En la mezcla Tipo A, se observan diferencias marginales para los distintos contenidos de AE, no así en las otras dos mezclas B y C.
- Nótese que, en todos los casos se tienen valores mayores en la mezclas con 2.5% de AE, para las tres tipos de granulometrías, siendo la mezcla Tipo C (mayor fino) la de mayores valores.
- Las Figuras 6 (a) muestran la dependencia del material antes cambios en las presiones de confinamiento y carga desviatorias (theta), se observa la propiedad tenso-dependiente de la mezcla Tipo B, siendo esta la de mayor dependencia ante los cambios de theta.
- En el Material Tipo B (seco), se observan curvas con mayores diferencias de valores respecto a sus distintos contenidos de AE, la cual varía respecto a la tasa de aplicación del AE.
- En los otros ensayos (UCS-ITS) las mezclas Tipo B en general muestran mayores valores de resistencia mecánica, diferente en este caso, donde la mezcla Tipo C arroja mayores valores.

[Escribir texto]

Figura 6: (a) Valores MrTx para Mezcla B seca (b) Resumen de los valores promedios MrTx

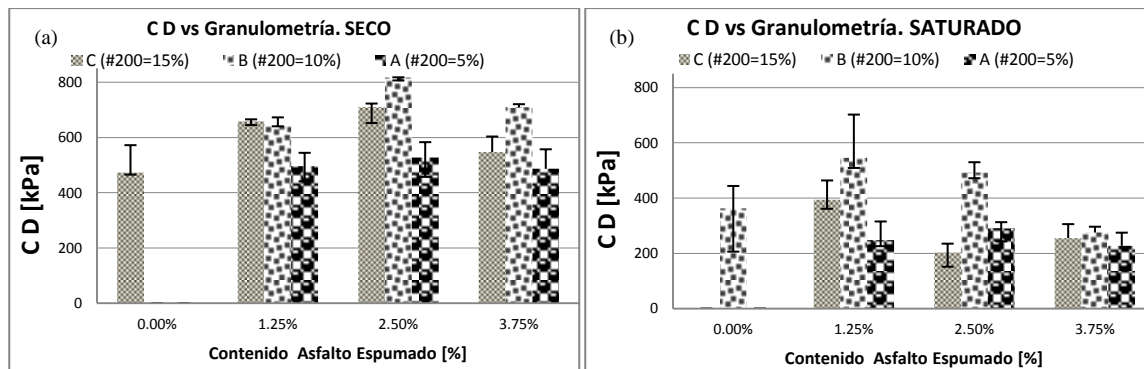


$$\text{Theta: } \theta = 3\sigma_0 + \sigma_d$$

Corte Directo (CD).

Los resultados de CD se resumen en la Figura 7 (a) y (b). Este ensayo no está normalizado para materiales con AE. Se evaluó a estas mezclas cortando el material en el Tamiz N°8=9.52mm, evaluando el sector fino de las mezclas, restricción dada por equipo de corte ($h < 1''$).

Figura 7: Resultados de ensayos de corte directo (CD)(a) Secas, (b) Saturada



Se realizan las siguientes observaciones:

- De manera general, las mezclas Tipo B y C tuvieron tendencias con máximos en torno al 2.5% de AE. Diferente es el caso de la Mezcla A, cuyos resultados arrojan diferencias marginales. Se esperaba que la Mezcla A tuviera un menor desempeño, siendo la de menor contenido densidad (finos 5%-mayor vacío), reflejadas en menores valores CD.
- Los máximos valores de CD se dan en la mezcla Tipo B, para las dos condiciones de ensayo, secas y saturadas, en el primer caso con 817 kPa (17% mayor al de 3.75% y 22% mayor al de 1.25%) para un contenido de 2,5% de AE y en el segundo con 546 kPa (10% mayor al de 2.5% de AE, 50% mayor al de 3.75% y 34% mayor al de 0% de AE) para 1.25% de AE.
- También se ejecutaron ensayos en mezclas sin AE (solo con 1% de cemento), con valores de 362 kPa en la mezcla B (saturada) y 472 kPa en mezcla C (seca), cuyas diferencias respecto al mayor valor CD respectivo en ambos casos es del 34% menor para ambas mezclas evaluadas. Dicha observación, abre la discusión sobre el aporte en la resistencia al corte del AE y del cemento. Nótese que la mezcla B, sin AE (saturada), es mayor a la que contiene 3.75%, no así frente a las otros dos contenidos.

[Escribir texto]

Fatiga por Tracción Indirecta Controlada (ITFS)

Parte de los resultados ITFS se muestran en la Tabla 4 y gráfica con un ejemplo en Figura 8. Se realizaron ensayos únicamente con las mezclas del Tipo B (Pasante #200:10%), con 3 réplicas para cada contenido de AE, ensayadas en condiciones secas, obteniéndose un valor promedio representativo, bajo la siguiente observación “los resultados no pueden ser concluyentes respecto a las tendencias sin una repetitividad de ensayos mayor”.

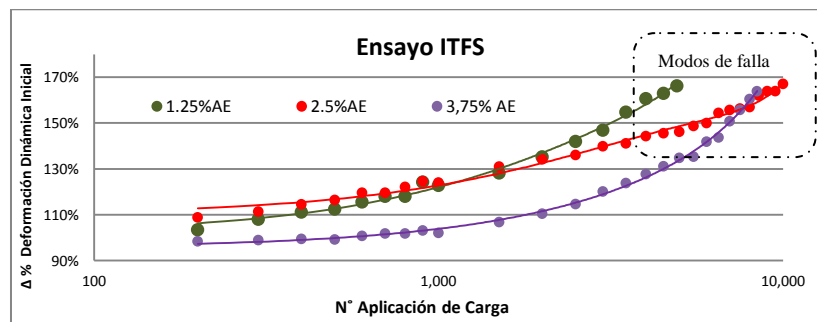
Tabla 4: Resultados de Ensayos ITFS. Mezclas Granulometría B, secas.

% AE	N° Ciclos Promedio	Des. Standar	Variabilidad	ITFT Referencial
1.25	5,375	436	8%	57%
2.5	9,455	2,314	24%	100%
3.75	7,775	1,957	25%	82%

El ensayo ITFS, aplica un valor de tensión controlada (ITS constante), en este caso se utilizó el valor de 240 kPa y definió un modo de falla para el cual la probeta fuera a ceder en la longitud del diámetro horizontal en un 65% de su deformación inicial o de acondicionamiento. El valor de 240 kPa representaría un valor entorno al 30% del valor ITS obtenido en diferentes pruebas y sería un estado de tensión (razón de tensión) razonable a la cual pudiese estar sometido un capa de material reciclado en la estructura del pavimento.

- En la Figura 8 se observa a modo de ejemplo tendencias según los resultados obtenidos, donde las mezclas con contenidos de 2.5% de AE resisten un mayor valor de número de ciclos: 9.455 ciclos (100%), frente a las mezclas con 3.75% (7.775 ciclos), siendo un 18% menor que la mezcla con 2.5% de AE. Igualmente la mezcla con 1.25% de AE fue la de menor resistencia (5.375 ciclos), 43% menor a las mezclas con 2.5%.
- Nótese la tendencia en el modo de falla (curvas al final del ensayo). La curva con 2.5% de AE, si bien resiste un mayor número de ciclos de carga, define una pendiente de curva menor frente a la curva definida por mezcla 3.75% cuya pendiente es mayor. Distintas pendientes puede interpretarse con modos de fallas diferentes, específicamente la probeta 3.75% tiene una mayor fluencia o sede más entorno al número de ciclos de falla, sin embargo la mezcla con 2.5% tiene un comportamiento con una tasa de deformación menor que las mezclas con 3.75%. Estas diferencias de fallas pueden atribuirse al efecto del contenido del AE en las mezclas, por lo que el ensayo puede inducir a detectar mejor los contenidos de AE.

Figura 8: Tendencias de valores ITFT. Granulometría B/Secas



CONCLUSIONES

- El ensayo ITS utilizado en Chile detecta ciertas propiedades mecánicas en las mezclas, pero respecto a la obtención de valores óptimos en los contenidos de AE, la prueba no define tendencias claras, pudiendo sobreestimar o subestimar el aporte del AE en su desempeño en terreno, siempre que sea el único criterio adoptado en el diseño de mezcla. En la condición saturada no se observa variabilidad respecto al contenido de AE.
- Tendencias poco claras respecto al contenido de AE fueron observadas en los ensayos tradicionales, por lo que hacen que su adopción en el diseño de mezclas deba replantearse o complementarse con otros tipos de ensayos, quizá no necesariamente mecánicos.
- Los ensayos UCS también considerados tradicionales, marcaron mejores tendencias que los ITS, pero no en todas las granulometrías. En estos ensayos si se pudo obtener valores máximos en torno al 2.5% de AE esperado, aunque no de manera concluyente.
- Los resultados en la granulometría considerada ideal o con finos intermedios (#200=10%) arrojaron mejores resultados para los ensayos tradicionales ITS e UCS, demostrando que estos ensayos son capaces de detectar mejores o peores composiciones granulométricas.
- En los ensayos complementarios, la prueba MrTx se observa variabilidad en los resultados respecto a su contenido de AE (sensibiliza), definiendo una mejor tendencia respecto a un óptimo de AE; No se recomienda su uso como principal método mecánico en la optimización del contenido de AE, coincidente con otras investigaciones.
- Los ensayos de ITFS también mostraron una mejor tendencia en torno al 2.5% de AE, considerado óptimo, soportando un mayor número de ciclos para un mismo estado de tensión. En estos ensayos las mezclas con 1.25% de AE tuvieron un comportamiento con bajo rendimiento respecto a números de ciclos resistidos, aunque no se puede ser concluyente por la poca repetición. En el ensayo existe alta variabilidad por la geometría y disposición de aplicación de carga, además de la suposición del comportamiento lineal-elástico.
- En los ensayos de CD (Corte Directo), siendo un ensayo no normado para este tipo de materiales y que evalúa únicamente al material medio-fino (pasante # 9.52mm), las tendencias marcan son mejores que en los ensayos tradicionales, generando máximos en torno al 2.5% de AE frente a los otros contenidos.
- Los ensayos complementarios podrían utilizarse en el diseño de mezclas ya que sensibilizan ante distintos contenidos de AE.

REFERENCIAS

- Asphalt Academy. (2009). TG:Bitumen Stabilised Materials (Second Edi., pp. 1–148). Pretoria.
- Collings, D. (2001). Experiencias adquiridas durante 10 años en la rehabilitación de firmes, mediante el reciclado in-situ con cemento y combinaciones con agentes bituminosos estabilizadores. 1er Simposio Internacional sobre Estabilización (pp. 85–103). Salamanca.
- Fu, P., Jones, D., Harvey, J. T., Bukhari, S. A., & Ave, O. S. (2009). Laboratory Test Methods for Foamed Asphalt Mix Resilient Modulus. Road Materials and Pavement Design, 10(1), 187–212. doi:10.3166/RMPD.10.187-212.
- Thenoux, G., González, A., y Dowling, R. (2007). Energy consumption comparison for different asphalt pavements rehabilitation techniques used in Chile. Conservation and Recycling, 49(4), 325–339.