



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

# EVALUACIÓN MECÁNICA DEL USO DEL ASFALTO ESPUMADO PARA ESTABILIZACIÓN DE RAP

Jesús Murillón Duarte<sup>1</sup>, Natalia Pérez García<sup>2</sup>,  
Mario Salazar Amaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México Campus Uruapan, Uruapan, México, [jesus.md@uruapan.tecnm.mx](mailto:jesus.md@uruapan.tecnm.mx).

<sup>2</sup> Instituto Mexicano del Transporte, San Fandila, México, [nperez@imt.mx](mailto:nperez@imt.mx).

<sup>3</sup> Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México, [msalazar@umich.mx](mailto:msalazar@umich.mx)

## Resumen

En esta investigación se realizó el estudio del mejoramiento de mezclas asfálticas obtenidas de Reciclado de Pavimento Asfáltico, RAP por sus siglas en inglés, mediante el uso de asfalto espumado como una técnica para lograr la estabilización del mástico, esto con el fin de obtener una mezcla asfáltica sostenible dentro de la industria del asfalto al eficientar el uso de materiales. Para su evaluación se realizaron ensayos de compresión simple, triaxial, límites de consistencia, granulometría, ensaye Marshall, TSR, y Deformación permanente, por mencionar algunos, en los cuales se fueron observado algunas propiedades de desempeño de la mezcla de diseño comparando porcentajes de 1.8, 2.0, 2.2 y 2,4 % de asfalto espumado así como con un espécimen virgen a fin de ver las correspondientes ventajas y desventajas de la aplicación de dicha técnica en el diseño de mezclas para su aplicación en carreteras, y para posteriormente aplicarla en los tramos de prueba y poder conocer el desempeño tanto en laboratorio como en sitio y ver su correlación final.

**Palabras clave:** RAP, Mástico, Asfalto, Espumado

## 1 Introducción

Hasta el día de hoy una carretera está compuesta por diferentes tipos de capas las cuales deben cumplir con ciertos tipos de características para poder tener un desempeño de manera adecuada, así mismo al momento de realizar la construcción de la misma tenga un buen funcionamiento y no presente problemas a corto plazo [1].

Cuando un tramo carretero cumplió con su vida útil o en cambio tuvo algunos problemas en el momento de estar cumpliendo su función, se podría retirar la carpeta para su reutilización con algunos aditivos que mejorarán sus propiedades mecánicas[2].

Atendiendo la problemática del constante fallo de los pavimentos de carretera, el uso de algunos aditivos mejorará las propiedades de la carpeta que se piensa reutilizar. En el caso del presente proyecto estará presente la reutilización de una carpeta asfáltica con el aditivo de asfalto espumado para mejorar sus propiedades al momento de tener que reciclarse y de nuevo volver a cumplir con su funcionamiento en el lugar que requiera utilizar.

Actualmente el uso desmedido de los recursos naturales nos ha llevado a construir caminos tratando de que sean sostenibles y representen el menor impacto para al medio ambiente, aunado a esto, se ha implementado el uso de materiales que mitiguen los factores ambientales como el reciclado de pavimentos o el propio asfalto espumado, sin reducir las características de desempeño e incluso mejorandolas, creando proyectos dentro de la industria del asfalto sostenibles en su implementación.

En el caso de la aplicación del asfalto espumado, una máquina de expansión le añade un porcentaje de agua entre el 1 y 3 % del total del material a nuestro RAP obtenido en campo y al entrar en contacto con los agregados calientes se evaporara de manera casi imperceptible generando vapor, el cual hace que se expanda la mezcla entre un 20 a 25% de su tamaño original.



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

## 2 Antecedentes.

Para comenzar debemos tener en claro a grandes rasgos algunos de los términos y características que se usaran en este proyecto. El asfalto es un material obtenido de la refinación del petróleo formado por asfaltenos y maltenos, que de manera precisa puede ser usado como ligante asfáltico, y en algunas ocasiones pueden llevar aditivos. Una mezcla asfáltica es la combinación de una cantidad de agregados y el ligante asfáltico (ver figura 1) ambos se calientan antes del mezclado y en su colocación también debe aplicarse a altas temperaturas. Regularmente la cantidad de agregados es del 93% al 97% de agregados y un 3% A 7% de asfalto [3].



Figura 1. Mezcla asfáltica vertida en camión Volteo

Las materiales asfálticos se aplican regularmente en la construcción de pavimentos flexibles, morteros, impermeabilizantes y estabilizaciones de bases granulares, cabe decir que el mayor impacto de los materiales asfálticos se ven en la construcción de carpetas asfálticas para el tránsito de distintos vehículos ligeros o pesados (Rivera et al., 2018)

El pavimento asfáltico reciclado o RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) es un término empleado a materiales reutilizados de capas asfálticas, que, luego de ser fresados o demolidos son optimizados con nuevos materiales a base de asfalto y en algunas ocasiones agregados.

El RAP se obtiene de los procesos de demolición de las carpetas asfálticas en servicio y son empleados en todos los procesos de rehabilitación y construcción de estructuras de pavimento (ver figura 2) [4]. Este material al ser demolido y tamizado, llevando el proceso correspondiente luego de una fórmula de trabajo, es mezclado con asfalto y agregados y se obtiene de nueva cuenta una mezcla asfáltica (Linares et al., 2020).



Figura 2. Obtención de RAP en carretera

El asfalto espumado o ligante expandido es producido mediante un proceso mecánico en el cual se inyecta, con ayuda de aire presurizado, una cantidad pequeña de agua (entre 1 % y 2 % sobre el peso de ligante) al asfalto caliente (160 °C a 180 °C) dentro de una cámara de expansión, lo que genera instantáneamente el efecto de espuma en el asfalto (ver figura 3) .



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

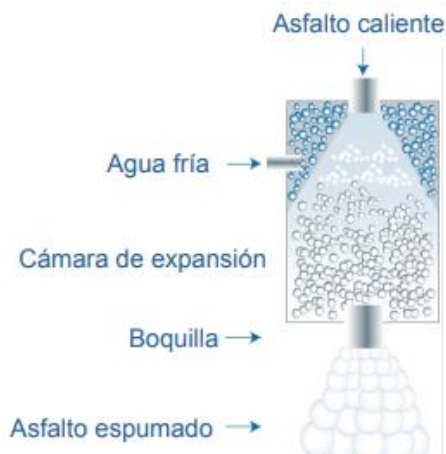


Figura 3. Estructura de tramo de prueba

El efecto de espuma se produce en el momento que las pequeñas gotas de agua fría entran en contacto con el asfalto caliente, lo que ocasiona transferencia de energía entre el asfalto y el agua que eleva la temperatura del agua a más de 100°C y la evapora instantáneamente, se crean burbujas de vapor que se encapsulan dentro del asfalto (Acuña., 2011).

### 3 Metodología

En el proyecto llevado a cabo se usará pavimento asfáltico reciclado (RAP) el cual se proporciona dentro del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y fue obtenido del reciclado de una carpeta asfáltica en Guanajuato, carretera Irapuato - La piedra con código IS20220930-34.

En el caso de realizar un proyecto con asfalto espumado, se necesita también conocer el asfalto que se va a utilizar para realizar el espumado en el proyecto, se usará asfalto proporcionado por la empresa Ergon Asfaltos México, con una clasificación de grado PG 64-22, este asfalto será el segundo material principal a utilizar después del RAP antes mencionado [4].

Por último, el material a conocer en este caso, será el uso de un porcentaje de filler el cual abarca tan solo el 1% de la muestra total. Se usará cal hidratada para ese 1% de filler que es para la hora de espumar.

Después de hablar acerca de los materiales que se usaran durante la elaboración de este proyecto, en los procedimientos de pruebas dentro del RAP se debe llevar el proceso de clasificación de material para seleccionar el usado en las pruebas de desempeño.

El primer paso será el cuarteo, de la cantidad de material inicial se debe pasar por un cribado de una pulgada con el fin de eliminar material más grande a esa pulgada ya que es la medida máxima que se pueden ensayar en los especímenes de laboratorio. Después, este material obtenido, se tiene que tender con el fin de dejarlo secar antes de proseguir con la siguiente prueba, el material tendido se debe dejar aproximadamente una semana y se debe estar volteando una vez al menos por día para que vaya perdiendo la humedad que podría tener.

Después del Tendido del material y el estarlo volteando cada día durante su secado se procede a apilar el material en forma de cono para proseguir con el cuarteo de este, que no es más que la reducción equitativa de material hasta llegar a la cantidad adecuada para los ensayos a elaborarse.

La prueba que sigue y se debe realizar al material que se mencionó con anterioridad (RAP) con el fin de poder tener conocimiento de los diferentes tamaños de partículas de agregados finos y gruesos, será la granulometría, realizada por medio de diferentes tamices, estos deben ser con calibrados como se cuentan en el Instituto Mexicano del Transporte y se basa en la norma (Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos No. IT-006 ASTM C 136-14).

El primer paso es tomar una muestra de RAP ya pasado por el proceso de cuarteo, se pesó una muestra de 15000 gr que se verterá en charolas metálicas y se dejará 24 horas en el horno de 110 grados para dejar secar el material y así poder hacer el proceso granulométrico [5].



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

Después de sacar los agregados gruesos y finos por los diferentes tamaños de las mallas se tiene que acomodar el material en un círculo por los diferentes tamaños e identificando cada uno por la malla que pasó y quedará como se muestra en la figura 4, esto con el fin de tener una referencia de los materiales.



Figura 4. Material clasificado por tamaño

Para el diseño de la mezcla con asfalto espumado comprendió los siguientes pasos:

Se buscaron la determinación del contenido de agua para espumar el asfalto.

Se llegó al resultado que, para este proyecto, la cantidad de agua para espumar el asfalto fue de 2.7 % a una temperatura de 170 °C (estos valores se determinaron en un proyecto previo) (Pérez et al., 2022).

Después se hizo la determinación del porcentaje de asfalto óptimo para la mezcla.

- A continuación se registraron los valores de peso volumétrico seco máximo y contenido de agua óptimo de la prueba Proctor modificada.
- Se pesaron muestras de 12.5 kg de agregado.
- Se pesó el 1 % de cal hidratada con respecto al peso del agregado seco.
- El agregado y el filler se mezclaron por un minuto (1 min es la duración de un ciclo).

Posteriormente se determinó la cantidad que se debe llevar para una compactación de los especímenes de 15 cm diámetro por 9.5 cm de espesor [6]

- Se determinó la cantidad de material que debía compactarse para cada espécimen. La cantidad de material debe garantizar que se alcance el peso volumétrico requerido.
- Mediante el compactador giratorio, se compactaron los especímenes utilizando como control el peso volumétrico seco máximo (de acuerdo con la prueba Proctor modificada) (Pérez et al., 2022).

Se lleva a cabo el procedimiento para la preparación de agregado con asfalto espumado. Para los especímenes con asfalto espumado fue similar al utilizado previamente para preparación de especímenes para diseño. Sin embargo, en este caso, el agregado solo se mezcló con 2.2 % de asfalto espumado y con el 1 % de cal hidratada.

Se realizó la prueba de resistencia en compresión simple, la cual consiste en colocar el espécimen en un marco como el de la Figura 5 y aplicarle carga a una velocidad de deformación controlada. En este caso, la velocidad se mantuvo en 1.2 %/min. La prueba se da por terminada cuando ocurre la falla del espécimen.



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.



Figura 5. prueba de resistencia a la compresión

En el siguiente paso se realizaron las pruebas necesarias para obtener los módulos de resiliencia, para este trabajo se aplicó el protocolo NCHRP 1-28A, cuya denominación es “Determinación del módulo de resiliencia para diseño de pavimentos flexibles”.

Para que las pruebas de módulo de resiliencia fueran llevadas a cabo, durante la investigación se utilizó el equipo triaxial cíclico que se muestra en la Figura 6. En esta prueba se aplican al espécimen diferentes cargas y presiones de confinamiento, dependiendo del tipo de material ensayado [7].



Figura 6. Equipo triaxial para determinar el módulo de resiliencia

#### 4 Resultados y Discusión

De los estudios realizados se obtuvieron las propiedades del material a utilizar. Los primeros datos obtenidos son características del RAP a utilizar las cuales se resumen en la tabla 1.

En la Figura 7 se muestra una de las granulometrías obtenidas de las muestras de RAP. En la misma figura puede apreciarse que las gravas se encuentran alineadas a la curva de límite superior, mientras que las arenas se adhieren a la curva de límite inferior. Cabe señalar que no se realizó ninguna modificación a la granulometría adicional al retiro de material con un tamaño mayor a 1”.



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

Tabla 1. Características de la mezcla de RAP con asfalto espumado.

Característica	Valor
Clasificación de acuerdo con el SUCS	SW
Limite liquido (%)	NP
Limite plástico (%)	NP
Índice de plasticidad (%)	NP
Gravedad especifica del material que pasa malla No. 4	2.39
Gravedad especifica del agregado grueso	2.56
Pasa malla No.200 (%)	1.49

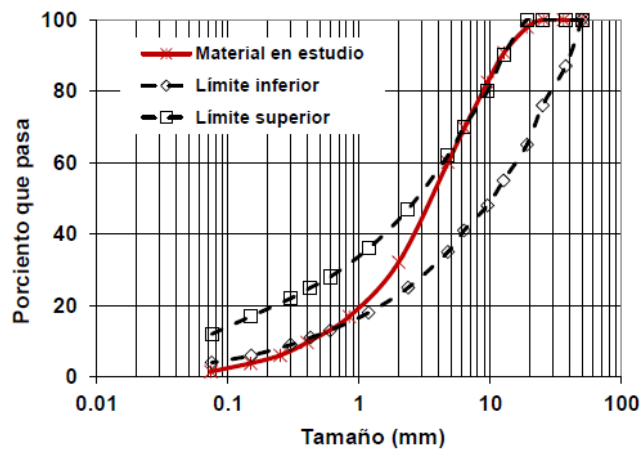


Figura 7. Gráfica de granulometría del RAP de estudio

Otra prueba que se debe conocer es la compactación del agregado que se usará, en la Figura 8 se muestra la curva de compactación Proctor modificada del agregado. De acuerdo con la gráfica, el contenido de agua óptimo fue de 7%, con un peso volumétrico seco máximo de 19.77 kN/m<sup>3</sup> (Pérez et al., 2022).

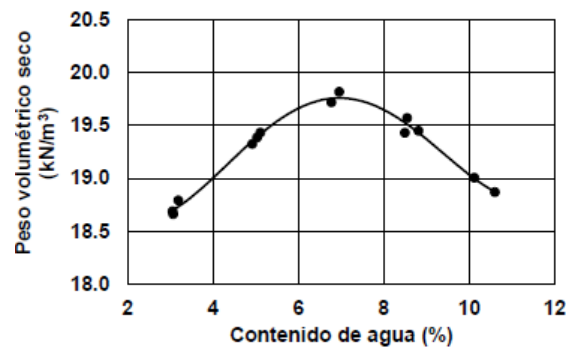


Figura 8. De Curva de compactación Proctor modificada del agregado en estudio.



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

A fin de controlar la compactación de todos los especímenes se utilizó el contenido de agua óptimo y el peso volumétrico seco máximo, sin embargo, se permitió que el contenido de agua variara  $\pm 0.5$  % y el peso volumétrico seco  $\pm 1$  %. La determinación del contenido óptimo de asfalto para espumar se basó en pruebas de tensión indirecta (TSR) que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Características de los especímenes después de la compactación y posterior al curado

Asfalto espumado %	No. De especimen	Características después de compactar					Características después del curado				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1.8	Diámetro (cm)	15.24	15.28	15.2 9	15.26	15.28	15.2 7	15.2 7	15.26	15.25	15.25
	Altura (cm)	9.77	9.66	9.58	9.65	9.61	9.87	9.59	9.69	9.59	9.59
	Peso (g)	3589	3593	3594	3592	3591	3473	3472	3471	3476	3474
	Ym (kN/m3)	19.76	19.90	20.0 4	19.97	19.99	18.8 5	19.3 9	19.21	19.47	19.46
2	Diámetro (cm)	15.26	15.25	15.2 4	15.24	15.26	15.2 6	15.2 6	15.25	15.24	15.27
	Altura (cm)	9.54	9.59	9.53	9.59	9.51	6.53	9.59	9.61	9.63	9.63
	Peso (g)	3593	3597	3598	3597	3594	3491	3493	3483	3489	3493.5
	Ym (kN/m3)	20.20	20.14	20.3 0	20.17	20.27	28.6 8	19.5 4	19.47	19.48	19.43
2.2	Diámetro (cm)	15.28	15.24	15.2 6	15.26	15.27	15.2 7	15.2 3	15.25	15.25	15.23
	Altura (cm)	9.82	9.7	9.8	9.77	9.81	9.96	9.76	9.81	9.89	9.86
	Peso (g)	3590	3594. 5	3597	3592. 5	3593	3488	3494	3483. 5	3490. 5	3490.5
	Ym (kN/m3)	19.56	19.93	19.6 9	19.72	19.62	18.7 6	19.2 8	19.07	18.96	19.06
2.4	Diámetro (cm)	15.24	15.27	15.2 7	15.26	15.24	15.2 4	15.2 7	15.26	15.27	15.24
	Altura (cm)	9.85	9.77	9.79	9.85	9.76	9.78	9.65	9.7	9.7	9.65
	Peso (g)	3585	3588. 5	3587	3589. 5	3585	3484	3486	3479	3485	3486
	Ym (kN/m3)	19.57	19.68	19.6 3	19.55	19.75	19.1 6	19.3 5	19.24	19.25	19.43

En la Tabla 3 condensa las resistencias a la tensión indirecta, así como el valor de TSR calculado. Asimismo, en la Figura 9 se muestra la relación existente entre el porcentaje de asfalto espumado y el valor de TSR. A partir de estos resultados, se determinó 2.2% como el óptimo para el contenido de asfalto espumado.



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

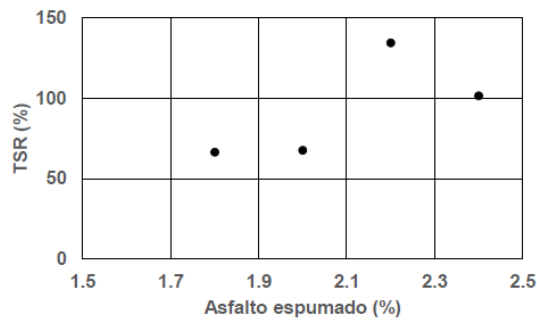


Figura 9. Relación entre porcentaje de asfalto espumado y TSR

Tabla 3. Resultados de resistencia a tensión y valores de TSR

% asfalto espumado	Condición	Espécimen No.	RTI (kPa)	RTI <sub>prom</sub> (kPa)	TSR
1.8	Seco	1	152	170	66
		2	172		
		3	185		
	Húmedo	1	103	113	
		2	129		
		3	116		
2.0	Seco	1	192	195	68
		2	215		
		3	179		
	Húmedo	1	125	132	
		2	134		
		3	137		
2.2	Seco	1	146	146	134
		2	138		
		3	154		
	Húmedo	1	191	196	
		2	198		
		3	199		
2.4	Seco	1	149	160	101
		2	163		
		3	169		
	Húmedo	1	144	163	
		2	173		
		3	171		

## 5 Conclusiones

En esta investigación se logra ver los efectos de la aplicación de asfalto espumado a fin de lograr una mejor cohesión en la mezcla asfáltica a base de RAP para empezar a crear una base teórica sobre la aplicación de esta metodología.





**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

La aplicación de asfalto espumado tuvo un impacto positivo en la construcción de la mezcla asfáltica a base de RAP debido a que mejora sus propiedades de adherencia además de tener resultados positivos en las pruebas de TSR.

Se pudo observar que contenidos altos de asfalto espumado no necesariamente mejorarán los valores de TSR, sin embargo, podemos inferir que al igual que pasaría con el contenido de asfalto convencional, se debe obtener un diseño óptimo de la mezcla para tener los mejores resultados.

Aunque aún es muy pronto para definir la implicación del asfalto espumado en la mezcla asfáltica a base de RAP, podemos concluir de estos primeros ensayos que el asfalto espumado si mejora la estabilidad de la mezcla teniendo en cuenta un diseño óptimo de la misma.

Se está en espera de los análisis del material colocado en tramos de prueba al fin de conocer su comportamiento dinámico al tránsito.

## 6 Referencias

1. Gonzalo, L. P.. *Advances in the study of the Behavior of Full-Depth Reclamation (FDR) with Cement*. (2019) Spain, p 23-32.
2. P Garnica Anguas, H Delgado Alamilla, J A Gómez López, S Alonso Romero, H A Alarcón Orta *Publicación Técnica No 246 "Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas"*; (2004) Sanfandila, Qro, 137, p 49-56.
3. P Garnica Anguas, H Delgado Alamilla, C D Sandoval Sandoval; *Publicación Técnica No 271 "Análisis comparativo de los métodos Marshall y superpave para compactación de mezclas asfálticas"*; Sanfandila, Qro, (2005), 153, p 76-88.
4. Alfonso, J. S. *Evaluación de comportamiento mecánico en pavimentos de espesor completo de asfalto reciclado (RAP) estabilizado con emulsion asfáltica y adicicion de cemento portland tipo I, sin intervención de la subrasante*. (2014) Bogota, p 18-29.
5. Association LEA.. Association LEA. Obtenido de Association LEA: <https://assolea.org/es/qu%C3%A9-es-el-asfalto-reciclado-y-c%C3%B3mo-ayuda-al-medio-ambiente/> (5 de septiembre de 2020).
6. Han, K. T. ( 2015). *Recent Development of Recycled Asphalt Pavement*. New York.
7. Mendoza Juan Fernando, A. E. *Beneficios ambientales de reciclaje de pavimentos*. Notas (2020) p 31-45.