

Monitoreo del stripping en el Sistema RAP-Geomalla



Colaboración

Jaime Romualdo Ramírez Vargas; Sergio Aurelio Zamora Castro; María Eugenia Díaz Vega; Saul Castillo Aguilar, Universidad Veracruzana

Fecha de recepción: 17 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

RESUMEN: La aplicación del pavimento asfáltico reciclado (RAP) reforzado con geomalla de fibra de vidrio para la construcción de vías de tránsito ligero es una alternativa sustentable que permite expandir la cobertura en infraestructura municipal; sin embargo, este sistema de interacción física propuesto debe trabajar sin efectos negativos debido a la incorporación del geo sintético en la estructura de la carpeta asfáltica de rodamiento. Esto llevo el estudio a monitorear su desempeño en una zona experimental a escala física con aforo controlado para tránsito ligero a través del registro microscópico, la medición milimétrica del asentamiento y la cronología macroscópica de su deterioro por captura de imágenes, que permitió asegurar que el sistema RAP-Geomalla no presenta daños significativos por tránsito relacionados con el desprendimiento de grandes porciones de la capa de rodamiento.

Por tanto, se trata de un sistema que resuelve la necesidad de vialidades para tránsito ligero aplicando materiales de desecho generados por los procesos de conservación de carreteras sin efectos adversos inherentes al origen de los residuos sólidos con la inclusión de un geo sintético.

PALABRAS CLAVE: Sustentable, Pavimento, Sistema, Geo sintético, Reciclado, Desprendimiento, Rodamiento, Tránsito.

ABSTRACT: The application of recycled asphalt pavement (RAP) reinforced with fiberglass geogrid for the construction of light traffic roads is a sustainable alternative that allows expanding coverage in municipal infrastructure; However, this proposed physical interaction system must work without negative effects due to the incorporation of the geosynthetic in the structure of the asphalt bearing layer. This led the study to monitor its performance in an experimental area on a physical scale with controlled capacity for light traffic through microscopic recording, millimeter measurement of settlement and macroscopic chronology of its deterioration by image capture, which allowed us to ensure that the system RAP-Geogrid does not present significant transit damage related to the detachment of large portions of the bearing layer.

Therefore, it is a system that resolves the need for roads for light traffic by applying waste materials generated by road conservation processes without adverse effects inherent to the origin of the solid waste and the inclusion of a geosynthetic.

KEYWORDS: Sustainable, Pavement, System, Geosynthetic, Recycling, Stripping, Rolling, Transit.

INTRODUCCIÓN

El uso del pavimento asfáltico reciclado y su combinación con las geomallas ha ganado cada vez más popularidad en los últimos años como una solución sostenible y eficiente para la construcción y mantenimiento de carreteras. Esta combinación de materiales ofrece diversas ventajas en términos de durabilidad, resistencia y reducción de costos, a pesar de los desafíos que pueden surgir, como el fenómeno del "stripping". En este artículo, estudiaremos la factibilidad de utilizar el pavimento asfáltico reciclado en conjunto con las geomallas para enfrentar el problema del desprendimiento de grandes porciones por falta de adherencia entre elementos del sistema RAP-Geomalla puesto en práctica.

Uno de los principales beneficios de utilizar pavimento asfáltico reciclado es la reducción del consumo de recursos naturales. El uso de asfalto reciclado puede disminuir la necesidad de extracción de materiales vírgenes, lo que contribuye a la conservación del medio ambiente y a la reducción de la huella de carbono [1].

Además, diversos autores han demostrado que el pavimento asfáltico reciclado ofrece una mayor vida útil y resistencia al desgaste en comparación con el asfalto convencional. Por otro lado, la incorporación de materiales reciclados en el pavimento asfáltico puede mejorar significativamente su resistencia a la fatiga y a la formación de grietas, lo que resulta en una mayor durabilidad a largo plazo [2].

Para solucionar los problemas asociados al stripping, muchos investigadores han propuesto la combinación de pavimento asfáltico reciclado con geomallas. En paralelo, el uso de geomallas puede aumentar la capacidad de carga y la resistencia a la deformación del pavimento, reduciendo así la propagación de las fisuras y prolongando la vida útil de la carretera [3].

En cuanto a la seguridad vial, el uso de pavimento asfáltico reciclado combinado con geomallas también ha demostrado beneficios significativos. Esta combinación puede mejorar la resistencia al deslizamiento y la adherencia de los neumáticos al pavimento, lo que reduce los accidentes de tráfico y aumenta la seguridad de los usuarios de la vía [4].

La aplicación de estas soluciones sostenibles y eficientes ha sido ampliamente discutida por diferentes autores en los últimos cinco años. Otro estudio relevante destaca la importancia de optimizar la combinación de pavimento asfáltico reciclado y geomallas, mediante un diseño adecuado de la estructura y la elección de materiales compatibles [5].

En concordancia con lo anterior, la combinación de pavimento asfáltico reciclado y geomallas puede reducir significativamente el mantenimiento y la rehabilitación de las carreteras, disminuyendo así los costos asociados y mejorando la eficiencia de la inversión [6].

Mediante el uso de tecnologías avanzadas, como el análisis por elemento finito, se ha demostrado la efectividad de la combinación de pavimento asfáltico reciclado y geomallas. El análisis numérico puede ayudar a comprender mejor el comportamiento mecánico de estos materiales en las distintas condiciones de operación, permitiendo una mejor optimización de su estructura [7].

Además, la combinación de pavimento asfáltico reciclado y geomallas ha sido ampliamente aplicada con éxito en proyectos de construcción de carreteras en diferentes partes del mundo. El uso de esta

combinación en un proyecto de rehabilitación vial en Estados Unidos demostró mejoras significativas en la resistencia y durabilidad del pavimento [8].

Es entonces que el uso del pavimento asfáltico reciclado en conjunto con las geomallas ofrece numerosas ventajas en términos de sostenibilidad, durabilidad y seguridad vial, a pesar de los desafíos relacionados con el stripping. Los beneficios del RAP al 30% para con el medio ambiente (véase el anexo A), además de los resultados del monitoreo en la zona experimental que se llevó a cabo a lo largo del presente trabajo respaldan la eficacia de esta combinación, proporcionando una base sólida para su aplicación en la construcción y mantenimiento de carreteras en el futuro.

MATERIAL Y MÉTODOS

Zona experimental

El presente trabajo definió dos huellas de estudio que se muestran en la Figura 1, para habilitar la zona experimental a escala física del Sistema RAP-Geomalla con un aforo de tránsito controlado. En este espacio ubicado en el estacionamiento de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat de la Universidad Veracruzana, en la ciudad de Boca del Río, Veracruz se retiró 1m² de la carpeta de pavimento semi rígido compuesta por adoquines en dos superficies de 1m por 1m cada una.



Figura 1. Zona experimental.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se excavó 10 cm de la terrecería con propósito de suministrar una capa de grava de ¾" de tamaño máximo nominal como base hidráulica, tal como aparece en la Figura 2.

Una vez compactada la capa de grava al 90% por medios manuales en capas de 4 cm, se depositó por capas la mezcla de concreto asfáltico reciclada elaborada en laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat con un porcentaje

de reemplazo del 30% de RAP [9] en el contenido de la mezcla asfáltica a utilizar.



Figura 2. Espesores de los materiales híbridos obtenidos.
Fuente: Elaboración propia.

Mezcla asfáltica

Del tipo convencional en caliente con AC-20 para la región señalada en la Figura 3 acorde a la normativa mexicana vigente suministrada por la Planta de asfalto IPESA, ubicada en la Carretera Federal Veracruz – Minatitlán km 34, El Tejar, Ver. Mientras que la muestra de pavimento asfáltico reciclado fue recolectada del banco adyacente al tramo Nautla – Palma Sola km 150, donde el material presentaba una condición visiblemente erosionada por viento sobre la carretera Núm. 180 que se encontraban en proceso de conservación. Este material de desecho se sometió al conjunto de pruebas (véase el anexo B) según la N-CMT-4-04/17 de la SCT para corroborar la calidad de sus agregados para mezclas asfálticas en caliente de granulometría densa.



Figura 3. Regiones geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60°C.
Fuente: SCT - N-CMT-4-05-001/06.

Geo sintético

En el inter del proceso se coloca una geomalla de fibra de vidrio sin abetunar de configuración rectangular de 5 mm de lado, recomendada por la empresa “Ecomex”, debido a su capacidad de refuerzo y redistribución del asentamiento. En posición coplanar al eje neutro, tal

como se observa en la Figura 4 para finalmente cubrirse por el resto de las capas compactadas por medios manuales hasta alcanzar los 12 cm de espesor de carpeta.



Figura 4. Incorporación de la geomalla en la estructura de la carpeta.
Fuente: elaboración propia.

Registro microscópico

Se utiliza un amplificador digital marca Steren con luz led para un centímetro cuadrado de contacto directo con enfoque nítido destinado a un aumento de 300x. Con captura cada semana a las siete de la mañana en tres puntos para cada superficie (véase el anexo C): entrada (E), centro (C) y salida (S) por donde se asegura el rodamiento del tránsito vehicular ligero repartido en rueda izquierda y rueda derecha. La escala estimativa del daño de la superficie de rodamiento es 1 para bajo disgregamiento del material, 2 para un disgregamiento medio y 3 para un disgregamiento alto.

Medición del asentamiento

Con la adecuación de un telemetro laser marca Juemel serie M8870-100 adaptado a un tri pie para cámara fotográfica que se calibra a una altura fija de 0.726 metros. Obsérvese la Figura 5. El registro es cada semana a las siete de la mañana en tres puntos para cada superficie (véase el anexo C): entrada (E), centro (C) y salida (S) por donde se asegura el rodamiento del tránsito vehicular ligero repartido en rueda izquierda y rueda derecha, con la referencia de un punto (R) ubicado sobre el adoquín que posee el nivel de superficie de rodamiento original.



Figura 5. Telemetría en la carpeta del sistema RAP-Geomalla.
Fuente: elaboración propia.

Registro macroscópico

Con una cámara digital marca Nikon modelo D3200 sujeto a un brazo extensible de tripie que se fija a una altura igual a 1.5 m. El registro cronológico es semanal tomado a las siete de la mañana en cada una de las superficies por donde han transitado los vehículos. En esta instrumentación no se otorgan calificadores de daño, dado que la imagenología secuencial de cada superficie de rodamiento tiene un cambio de aspecto a lo largo del tiempo. Sin embargo, este registro es un jurado estricto para determinar el efecto del stripping en el sistema RAP-Geomalla habilitado y monitoreado integralmente a lo largo de 3 meses.

RESULTADOS

La degradación microscópica (véase el anexo D) muestra un ligero desgaste de la superficie de rodamiento a lo largo del período de monitoreo de la habilitación de la zona experimental.

El asentamiento es paulatino, pero uniforme con un alcance máximo igual a 25 mm con respecto al punto de referencia. La Figura 6 permite observar la deformación diferencial milimétrica entre los puntos del control a lo largo del período de monitoreo.

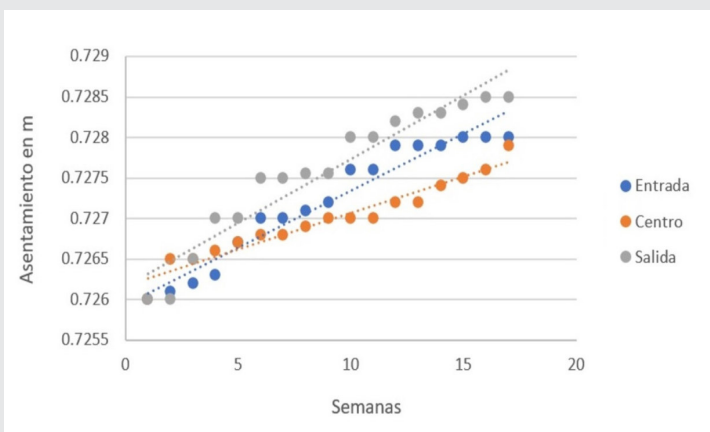


Figura 6. Gráfica del asentamiento de la carpeta a través de los puntos de control.

Fuente: Elaboración propia.

Así como la dispersión con respecto a la tendencia establecida por la regresión lineal de los puntos de control con el orden: entrada, centro y salida a través de las ecuaciones en forma respectiva:

$$y = 0.0001x + 0.7259 \quad \text{Ec. (1)}$$

$$y = 0.00009x + 0.7262 \quad \text{Ec. (2)}$$

$$y = 0.0002x + 0.7262 \quad \text{Ec. (3)}$$

No se observa desprendimiento de grandes porciones de la superficie de rodamiento a lo largo del período de monitoreo. (véase el anexo E)

AGRADECIMIENTOS

Expresamos el más sincero agradecimiento a la empresa Ecomex por el valioso asesoramiento brindado hacia nuestro estudio con relación a la valoración, clasificación y definición de la aplicación de los productos tensor utilizados en la estabilización de suelos y pavimentos con geo sintéticos. Su destacada especialización en este campo ha sido de suma importancia para nuestro proyecto, permitiéndonos contar con información clara y precisa que ha contribuido de manera significativa en la toma de decisiones. El conocimiento experto que nos han brindado nos ha permitido comprender a fondo las características, ventajas y aplicaciones de los productos TENSAR, así como su adecuada utilización en diferentes contextos y situaciones; dentro de ellas la geomalla de fibra de vidrio sin abetunar. Agradecemos especialmente la disposición y paciencia que han mostrado en responder nuestras múltiples consultas, brindando siempre una atención personalizada y orientadora. Su compromiso y profesionalismo ha sido evidente durante todo el proceso de asesoramiento, generando en nosotros una confianza plena en su experiencia y conocimientos.

CONCLUSIONES

La toma microscópica es un referente subjetivo debido a las variables como la refracción de la luz solar, la humedad, la inclusión de polvo y la misma parte calificadora que encuentra ambigüedades en capturas altamente semejantes.

La incorporación de la geomalla de fibra de vidrio sin abetunar en la estructura de la carpeta de rodamiento con RAP no potencializa el efecto del stripping entre agregado y ligante.

El efecto de stripping es sólo uno de los efectos adversos a los que puede estar expuesto el sistema RAP-Geomalla. Por tanto, se pretende estudiar en lo subsecuente la acción de la propagación de las fisuras por tendido en carpetas de pavimento con RAP que incorporan en su estructura la geomalla de fibra de vidrio sin abetunar; así como, queda sin explorar la línea de investigación con respecto a la rentabilidad de esta práctica.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Chen, X., Hu, H., Zhang, J., & Zhao, Y. (2016). Sustainable Performance Evaluation of Reclaimed Asphalt Pavement Based on Structure Analyses. *Journal of Cleaner Production*, 137, 404-413. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.07.143

[2] Wang, J., Huang, Y., & Xue, S. (2018). Investigation of Fatigue Characteristics of Asphalt Mixtures with Gradation on Using Recycled Asphalt. *Construction and Building Materials*, 188, 1122-1129. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.09.207.

[3] Li, Z., Chen, Q., & Zhou, L. (2019). *Investigation on the Performance of Geosynthetic-Reinforced Semirigid Base during Wheel Tracking Test*. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 145(3), 04019009. DOI: 10.1061/jpeodx.0000108

[4] Liu, X., Ahmed, A., Shu, X., & Cui, P. (2017). *Effect of Recycled Asphalt Pavement Contents on Friction and Noise Properties of Asphalt Mixtures*. *Construction and Building Materials*, 149, 1-9. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.207

[5] Wu, X., Liu, A., & Wang, H. (2020). *Numerical Analysis of Mechanical Behavior of Recycled Asphalt Mixture Reinforced by Geogrid with Different Residual Strains*. *Construction and Building Materials*, 258, 119685. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119685

[6] Zhang, F., Luo, X., Li, X., & Xu, C. (2018). *Influences of Reinforcement Method on Mechanical Properties of Recycled Asphalt Pavement Materials*. *Construction and Building Materials*, 183, 149-159. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.127

[7] Cheng, G., Kong, L., & Yi, J. (2021). *Finite Element Analysis of Pavement Structure with Geogrid Reinforcement*. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, 6670711. DOI: 10.1155/2021/6670711

[8] Smith, K. M. (2019). *Evaluation of a Hot In Place Recycling Project with Glass Fiber Reinforced Asphalt Emulsion in Michigan*. *Transportation Research Record*, 2673(9), 437-448. DOI: 10.1177/0361198119834281

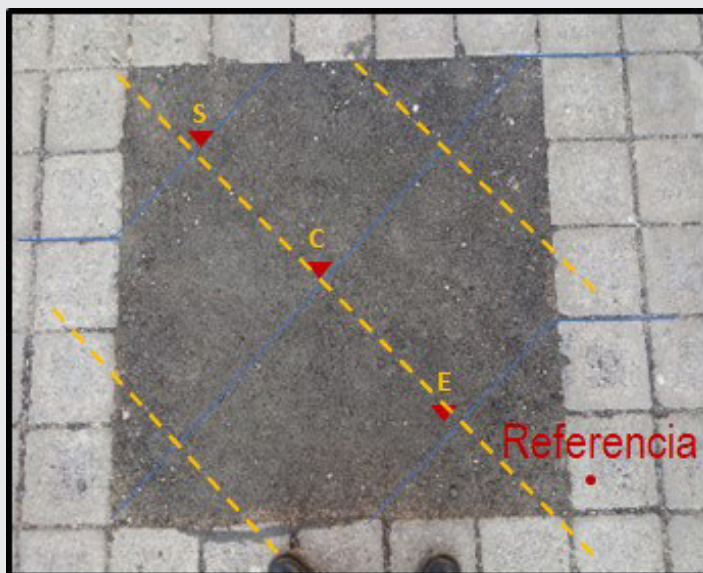
[9] Pradhan S.K. y Sahoo U.C. (2022) "Influence of softer binder and rejuvenator on bituminous mixtures containing reclaimed asphalt pavement (RAP) material". *International Journal of Transportation Science and Technology* 11, 46-59. DOI: 10.1016/j.ijtst.2020.12.001.

ANEXO A. Reducción del consumo de emisiones mediante el uso de RAP. Fuente: IMT NOTAS núm. 184, MAYO-JUNIO 2020, artículo 1.

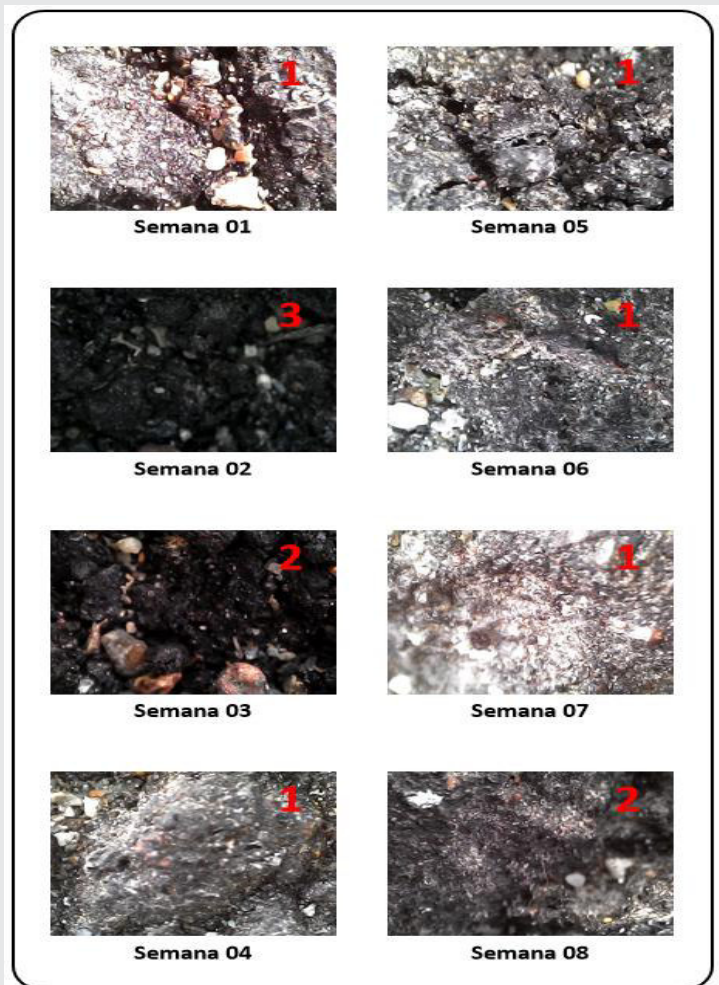
	[kgeqCO2/m3]	(%)
Mezcla Virgen		
Agregados	16.58	15.25
Conglomerante de asfalto	88.87	81.75
Bacheo	3.26	03.00
Mezcla 30% RAP		
Agregados	12.93	14.81
Conglomerante de asfalto	69.89	80.07
Bacheo	3.64	04.17
Preparación del RAP	0.83	0.95

ANEXO B. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa cuando $\Sigma L \leq 10^6$. Fuente: SCT - N-CMT-4/04/17

Característica	Valor	
GRAVA		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo	2,4	
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo	35	
Desgaste microdeval, %, máximo	18	
Intemperismo acelerado, %, (5 ciclos), máximo	en sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	20
Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo	40	
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	90
	Dos o más caras	80
Desprendimiento por fricción, %, máximo	20	
ARENAS Y FINOS		
Densidad relativa del material pétreo seco (d_{pd}), mínimo	2,4	
Angularidad, %, mínimo	40	
Equivalente de arena, %, mínimo	45	
Azul de metileno, mg/g, máximo	18	



ANEXO C. Puntos de control para la toma y registro de datos de la zona experimental del sistema RAP-Geomalla. Fuente: Elaboración propia.



ANEXO D. Registro microscopio con valoración discreta en escala estimativa propuesta. Fuente: Elaboración propia.



ANEXO E. Valoración visual de la degradación de la carpeta de rodamiento. Fuente: Elaboración propia.