

Evaluación del potencial de reutilización de residuos industriales en mezclas asfálticas en caliente mediante la sustitución de filler

Evaluation of the potential reuse of industrial waste in hot asphalt mixtures through filler substitution.

Presentación: 10/10/2024

Montero, María Cecilia

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Bahía Blanca
monteromc@gmail.com

Poggio, José María

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Bahía Blanca
josem.poggio@gmail.com

Blázquez, Pamela Agustina

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Bahía Blanca
pamelablazquez@hotmail.com

Escobar del Valle, Angélica Yamila

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Bahía Blanca
escobaryamila91@gmail.com

Resumen

Para lograr una gestión sostenible en la industria de la construcción, es esencial analizar los impactos ambientales derivados de los materiales empleados en las obras. Dicho estudio evalúa la sustitución del filler, en mezclas asfálticas en caliente, utilizando polvo de piedra ornamental residual proveniente de una planta dedicada a la fabricación de mármol. El objetivo es estudiar el potencial de reutilización de estos residuos como alternativa viable y sostenible para reducir la dependencia de los recursos naturales y contribuir en la gestión adecuada de desechos.

Se realizaron ensayos de laboratorio comparando mezclas estándar con aquellas que reemplazan la cal, utilizando porcentajes de residuos de corte de piedra del 33%, 66%, y 100% en peso. Los resultados reflejan una reducción en la estabilidad y un incremento en la fluencia de las mezclas asfálticas tras los reemplazos. El uso de estos residuos mostró un efecto positivo, limitando su reemplazo hasta un 50%, permaneciendo dentro de los parámetros normativos exigidos, generando además un beneficio ambiental, ya que reduce el consumo de recursos naturales y promueve la reutilización de residuos, evitando su disposición final.

Palabras clave: Sustentabilidad, Reúso, Residuos, Asfalto, Industrias, Filler.

Abstract

To achieve sustainable management in the construction industry, it is essential to analyze the environmental impacts of the materials used in building projects. This investigation evaluates the filler replacement in hot asphalt mixes using residual ornamental stone powder from a marble factory. This study aims to explore the



potential for reusing these residues as a viable and sustainable alternative to reduce the dependence on natural resources and contribute to proper waste management.

Laboratory tests were conducted comparing standard mixtures with those that substitute lime, using stone cutting waste at 33%, 66%, and 100% by weight. The results showed a decrease in stability and an increase in the creep in the asphalt mixtures after the replacements. The use of these residues had a positive impact, with replacement limited to 50% while remaining within required regulatory standards. Additionally, it generated environmental benefits by reducing natural resource consumption and promoting the reuse of waste, preventing its final disposal.

Keywords: Sustainability. Filler. Reuse. Waste. Asphalt. Industries, Filler.

Introducción

Muchos estudios indican que la industria de la construcción es de las más perjudiciales para el medio ambiente, debido a su elevado consumo energético y a las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) que genera.

Actualmente, la preocupación por el agotamiento de los recursos naturales y el aumento de los residuos generados en dicha industria, han impulsado la búsqueda de soluciones innovadoras que adopten prácticas sostenibles (Cerdeira, 2009).

Las alternativas que se presentan como estrategias viables para reducir el impacto ambiental y optimizar la eficiencia en los procesos constructivos incluyen la sustitución de materiales convencionales por productos reciclados o residuos industriales.

El uso de residuos industriales en la fabricación de mezclas asfálticas no solo puede disminuir la demanda de materiales naturales, sino también contribuir a la reducción del impacto ambiental relacionado con la gestión de desechos.

En las mezclas asfálticas, el filler, material que actúa como un agente de relleno y mejora la cohesión y estabilidad del asfalto, es uno de los componentes críticos, dado que se obtiene a partir de la explotación de recursos naturales no renovables, como la cal o la piedra caliza molida (Santos, 2012).

Numerosos estudios han demostrado que el polvo de piedra, un subproducto generado en el proceso de trituración puede emplearse de manera efectiva como reemplazo del filler en mezclas asfálticas. Estos residuos presentan propiedades físicas y químicas que pueden mejorar el rendimiento del asfalto (Santos, 2021). Por lo que, la búsqueda de alternativas sostenibles para reemplazar el filler por residuos industriales generados en la construcción, como el polvo de piedra, es una línea de investigación de gran relevancia

Un estudio realizado por Fernández et al. (Fernández, 2022). demostró que la sustitución del filler convencional por polvo de piedra en mezclas asfálticas resultó en una mejora de las propiedades mecánicas del asfalto, incluyendo una mayor resistencia a la deformación y una mejor estabilidad en condiciones de alta temperatura. Además, la reutilización de estos residuos contribuye a la reducción de la demanda de materiales vírgenes y a la disminución de la huella ecológica de la industria de la construcción (Brito et al., 2018)

El análisis de la estabilidad y fluencia de las mezclas asfálticas es fundamental para evaluar el desempeño de las mezclas modificadas. La estabilidad se refiere a la capacidad de la mezcla para resistir deformaciones bajo carga, mientras que la fluencia se relaciona con la deformación plástica que ocurre bajo condiciones de carga prolongada (Pavlović et al., 2021). Estos parámetros son esenciales para garantizar que las mezclas asfálticas mantengan su integridad y funcionalidad a lo largo de su vida útil.

En las mezclas asfálticas, el análisis de la estabilidad, que se refiere a la capacidad de la mezcla para resistir deformaciones bajo carga, y la fluencia, que se relaciona con la deformación plástica que ocurre bajo condiciones de carga prolongada (Pavlović et al., 2021); son esenciales para evaluar la integridad y funcionalidad de estas a lo largo de su vida útil.

El objetivo de esta investigación es evaluar el potencial de reutilización de residuos generados en la fabricación de piedra ornamental, mediante la sustitución del filler en mezclas asfálticas en caliente y demostrar si son una alternativa viable y sostenible para reducir la dependencia de los recursos naturales en la industria de la construcción, contribuyendo en la gestión adecuada de desechos industriales.

Este trabajo experimental es parte de un proyecto de investigación que se enmarca en el proyecto “Eficiencia energética y acondicionamiento higrotérmico en proyectos de intentos del sector residencial. Una aproximación como medidas de mitigación al cambio climático” de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca (PID 8416). En el mismo se consideran los residuos generados en la fabricación de piedra ornamental de una planta dedicada al corte, tallado y acabado de mármol y piedra, en reemplazo del filler en mezclas asfálticas en caliente.

Universo de Estudio

Los residuos utilizados en las mezclas asfálticas en caliente en reemplazo del filler, se obtuvieron de una planta considerada como caso de estudio, la cual se dedica al corte, tallado y acabado de mármol y piedra, ubicada en la localidad de Bahía Blanca.

Los desechos generados debido a la actividad de esta industria alcanzan, valores de hasta 10 toneladas por año y son considerados especiales debido a su finura. Actualmente, se destinan a disposición final en rellenos de seguridad.

Durante el corte y pulido de los bloques de diferentes rocas que llegan a la planta, se origina un lodo compuesto por agua, restos de piedra natural en forma de polvo y residuos de metales procedentes del desgaste de los hilos de corte. El mismo descarga en piletas de decantación. En estas piletas, parte del agua se recupera y recircula en el proceso de corte y pulido mientras que, el residuo decantado en el fondo de las mismas es impulsado hacia unas lagunas, ubicadas en un área periférica a la zona de producción, donde se deposita como material inerte para su posterior descarga a disposición final.

Si bien el residuo que se genera es inerte, se considera especial por su finura. Aunque su impacto podría parecer insignificante, es necesario proteger la salud de las comunidades cercanas a estas lagunas y prevenir la contaminación ambiental.

Desarrollo

Para lograr el objetivo, se propone una metodología que consiste en la realización de ensayos experimentales para evaluar la estabilidad y fluencia de las mezclas asfálticas en calientes resultantes de reemplazar el filler mineral por residuos de polvo de piedra; y a partir de los resultados obtenidos, determinar la posibilidad de implementar esta alternativa sin restricciones significativas en las propiedades del producto final, asegurando que cualquier condicionamiento pueda superarse fácilmente.

En primer lugar, se determinaron las propiedades físicas de los materiales constituyentes de la mezcla. A continuación, se detallan las materias primas empleadas:

- Cemento asfáltico CA-10 (de la empresa Trasfigura SA.).
- Cal hidráulica: como filler o relleno mineral.
- Áridos locales: piedra partida 6-20, como agregado grueso, y arena de trituración 0-6 como agregado fino (ambos provenientes de la cantera Piro & Ruiz ubicados a 115 km. localidad de Dufaur).

Estos materiales fueron caracterizados, realizando ensayos de:

- Granulometría por vía seca y vía húmeda de acuerdo con lo indicado en la Norma VN-E1-65 (Dirección de Vialidad Nacional), para todos los agregados pétreos.
- Módulo de finura y # 200 para agregados pétreos.
- Peso específico, peso específico aparente y absorción de los agregados, según lo establecido en las Normas VN-E13-67, VN-E14-67, VN-E15-89 (Dirección de Vialidad Nacional).
- Desgaste, por medio de ensayo Los Ángeles, según la Norma IRAM 1532, para el agregado grueso.
- Índice de plasticidad, VN-E3-65 (Norma IRAM 1532, 2009) para el residuo.

Posteriormente, se procedió al diseño de la dosificación de una mezcla asfáltica convencional en caliente, utilizando el método Marshall, según Norma de Vialidad Nacional VN-E9-86 (Dirección de Vialidad Nacional), que se empleó como patrón o referencia inicial para el estudio. La dosificación en porcentaje y en pesos se presentan en las Tablas 1 y 2 respectivamente.



Material	Porcentajes (%)
Agregado Fino 0-6	57,41
Agregado Grueso 6-20	36,05
Filler (Cal)	1,54
Cemento Asfáltico	5
Total	100

Tabla 1: Dosificación de mezcla asfáltica en caliente Patrón, en porcentajes

Material	Pesos (gramos)
Retenido 0-6	303
Pasa 0- 6	371
Retenido 6-20	317
Pasa 6-20	106
Cemento Asfáltico	59
Cal	18
Total	1174

Tabla 2: Dosificación de mezcla asfáltica en caliente Patrón, en peso.

En función de esta dosificación se elaboraron mezclas con diferentes porcentajes en peso de reemplazo del filler (relleno mineral) por residuos de polvo de piedra hasta su sustitución completa.

Se moldearon tres probetas patrón (P1, P2 y P3), tres probetas para cada reemplazo de cal por residuo en tercios, (P4, P5, P6, P7, P8 y P9) en peso del total de filler., y tres probetas con reemplazo total de la cal (filler) (P10, P11 y P12).

Resultados

Se determinaron los pesos de las probetas en estado Saturado Superficie Seca (SSS) y sumergidas, de acuerdo con el procedimiento establecido en la Norma de ensayo VN - E12 - 67 (Dirección de Vialidad Nacional), con el fin de calcular la densidad Marshall de las muestras de mezclas asfálticas compactadas en laboratorio. Asimismo, se registraron las alturas de las probetas para aplicar la corrección de estabilidad por altura, siguiendo lo indicado en la Tabla 3.

% de reemplazo	Nº de Probeta	Altura	Peso Seco	Peso Húmedo	Peso Sumergido	Densidad Marshall	Densidad Promedio
0% (Patrón)	1	64,9	1166,4	1168,8	668,2	2,33	2,32
0% (Patrón)	2	64,4	1171,8	1171,6	670,8	2,34	
0% (Patrón)	3	66,6	1174,6	1178,7	663,5	2,28	
33%	4	66,3	1159,6	1164,2	662,2	2,31	2,28
33%	5	65,0	1164,9	1166,8	655,9	2,28	
33%	6	65,7	1164,1	1167	651,9	2,26	
66%	7	65,7	1164,7	1169,5	654,1	2,26	2,27
66%	8	66,9	1177,3	1181,3	662,7	2,27	
66%	9	67,9	1171,6	1176,3	660,2	2,27	
100%	10	63,5	1148,4	1150,5	642,4	2,26	2,26
100%	11	64,1	1181	1183	662,7	2,27	
100%	12	63,1	1162,3	1164,3	647,7	2,25	



Tabla 3: Registro de densidades y alturas de probetas.

Finalmente, se llevó a cabo la determinación de la estabilidad y la fluencia de cada probeta de mezcla asfáltica mediante el método Marshall, el cual es adecuado para mezclas preparadas en caliente que utilizan cemento asfáltico como ligante, junto con agregados pétreos de hasta 25 mm de tamaño máximo y filler. Estos ensayos se realizaron conforme a la Norma VN - E9 - 86. 67 (Dirección de Vialidad Nacional). Los resultados obtenidos se detallan en las Tablas 4 a 7.

Probeta	Patrón			
	P1	P2	P3	Promedio
Densidad(tn/m ³)	2,33	2,34	2,28	2,32
Fluencia (mm)	3,25	4	4	3,75
Carga (Lectura)	525,00	490,00	490,00	
Altura (m)	6,49	6,44	6,66	
Factor de corrección	0,97	0,98	0,94	
Estabilidad	1138,39	1076,75	1032,16	1082,43

Tabla 4: Dosificación de mezcla asfáltica en caliente en peso Muestra Patrón

Probeta	Reemplazo - 33% cal			
	P4	P5	P6	Promedio
Densidad(tn/m ³)	2,31	2,28	2,26	2,29
Fluencia (mm)	4,50	3,5	3,25	3,75
Carga (Lectura)	520,00	490,00	490,00	
Altura (m)	6,63	6,50	6,57	
Factor de corrección	0,94	0,97	0,95	
Estabilidad	1099,81	1064,95	1043,96	1069,57

Tabla 5: Dosificación de mezclas asfáltica en caliente en peso con reemplazo del 33% de la cal.

Probeta	Reemplazo - 66% cal			
	P7	P8	P9	Promedio
Densidad(tn/m ³)	2,26	2,27	2,27	2,27
Fluencia (mm)	3,5	3,50	4,00	3,67
Carga (Lectura)	400,00	410,00	425,00	
Altura (m)	6,57	6,69	6,78	
Factor de corrección	0,95	0,92	0,9	
Estabilidad	858,01	839,37	857,73	851,70

Tabla 6: Dosificación de mezclas asfáltica en caliente en peso con reemplazo del 33% de la cal.

Probeta	Reemplazo - 100% cal			
	P10	P11	P12	Promedio
Densidad(tn/m ³)	2,26	2,27	2,25	2,26



Fluencia (mm)	3,5	3,2	3,5	3,40
Carga (Lectura)	340,00	350,00	360,00	
Altura (m)	6,43	6,43	6,21	
Factor de corrección	0,98	0,98	1,03	
Estabilidad	744,8	764,4	824	777,73

Tabla 7: Dosificación de mezclas asfáltica en caliente en peso con reemplazo total de la cal.

Como puede observarse en las Tabla 5, 6 y 7, para las probetas con reemplazo de filler (cal) por polvo de roca, los resultados de rotura dieron estabilidades decrecientes a medida que aumenta el reemplazo, al igual que la fluencia, disminuyeron con relación a la probeta patrón (Tabla 4), lo que implica una menor resistencia a la rotura y menor deformación (mezclas más rígidas).

Al analizar los resultados del reemplazo del 33% y 66% de filler por polvo de roca esta sustitución dio distintos resultados, el primero no sufrió grandes diferencias con la muestra patrón, en cambio cuando se reemplazó 2/3, las diferencias fueron mayores, lo que nos limita la cantidad de polvo de roca al 33%.

Para bajos porcentajes de reemplazo los resultados son semejantes a la probeta patrón, y para mayores reemplazos la estabilidad decrece en mayor escala.

Por el contrario, para las probetas fabricadas solo con residuo como filler, los valores obtenidos no llegan a cumplir con los parámetros requeridos, por lo que se descarta el remplazo total.

Puede notarse que la estabilidad para los distintos reemplazos disminuyó en todos los casos respecto de la muestra patrón (Tabla 4) en porcentajes desde 16 a 20 %, lo que indica un descenso de la resistencia menor al producido en las probetas con reemplazo de filler (Tabla 5). En cuanto a la fluencia, los valores para las probetas con mayores reemplazos muestran una disminución del valor, lo que hace que las mezclas se comporten como mas rígidas, pero siempre dentro de los parámetros.

Conclusiones

El agregado de este residuo como sustituto del filler en diferentes porcentajes, no evidencio mejoras en la estabilidad de la mezcla asfáltica resultante en general, pero si en la fluencia de la misma.

Los valores de estabilidad tuvieron distintos comportamientos en función del porcentaje de reemplazo de filler, comprobando que, con el aumento de la sustitución de cal, mayor reducción de la estabilidad de la mezcla. En cambio, respecto a la fluencia, resulto en una disminución, siempre dentro de los límites exigidos, haciendo que la mezcla tenga una menor flexibilidad.

Cabe aclarar que, si bien el uso de este reemplazo es factible dado que los resultados obtenidos están dentro de los requeridos por las reparticiones para una mezcla de Concreto Asfáltico Convencional Denso TMA 25 mm, no se logran mejoras significativas. Sin embargo, su uso en porcentajes bajos de reemplazo del filler, generaría una reducción de su consumo, lo que sugiere un potencial beneficio ambiental al reducir la contaminación generada en la elaboración de la cal, la reutilización de un material contaminante del medio ambiente y el costo de evitar su disposición final.

Este trabajo constituye un primer avance en la investigación con el fin de llevar las mezclas formuladas a campo.

Como continuación de esta investigación, se llevarán a cabo ensayos adicionales como la determinación de la concentración crítica, el porcentaje de vacíos, el aumento del porcentaje de Cemento Asfáltico, entre otros. Además, se realizarán dosificaciones utilizando diferentes porcentajes de residuo. Se llevará a cabo un estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de las mezclas asfálticas, evaluando las emisiones de CO₂ equivalentes, lo que permitirá comparar su desempeño al variar los porcentajes de reemplazo de componentes de la mezcla por residuos.

La importancia de esta evaluación radica en validar el potencial del residuo para ser utilizado como subproducto en la industria de corte y pulido de piedras ornamentales. Este aspecto es crucial para abordar la sostenibilidad en la producción de este material en la industria de la construcción y cerrar el ciclo de vida del producto con un menor impacto ambiental.

Agradecimientos

El trabajo presentado fue posible gracias a la colaboración de la empresa Grupo Guasch SRL, que nos permitió el acceso a la instalación de la planta y la utilización del material necesario para realizar los estudios presentados, ya que entienden la importancia de impulsar prácticas sustentables en las líneas de trabajo, comprometiéndose en minimizar los impactos asociados a sus productos.

Referencias

- Cerdeña, A. (2009). Desechos del mármol. De residuo a recurso económico y ambiental. Revista Nova Ciencia España, 14-19.
- Brito, Jorge., et al. (2018). Sustainable Construction Materials and Technologies. CRC Press. ISBN: 978-1-138-48620-5.
- Dirección de Vialidad Nacional. Normas de Ensayos de la Dirección de Vialidad Nacional –Buenos Aires Argentina.: DNV. <https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/vialidad-nacional>
- Fernández, A., et al. (2022). "Evaluation of the Use of Stone Powder as a Filler in Hot Mix Asphalt." Journal of Materials in Civil Engineering, 34(4), 04022045.
- IRAM 1532. "Agregados. Determinación de la resistencia a la fragmentación por el método Los Ángeles". Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 14 pp. (2009).
- Pavlović, M., et al. (2021). "Performance Characteristics of Asphalt Mixtures Containing Recycled Materials." Road Materials and Pavement Design, 22(3), 630-649.
- Santos Ana CP, N. V. (2012). Residuo de mármol como insumo en la construcción civil: diagnóstico de la Comarca Lagunera. Revista de la construcción, 17-26.
- Santos, M., et al. (2021). "Utilization of Stone Dust in Asphalt Mixes: A Review." Journal of Cleaner Production, 278, 123982.